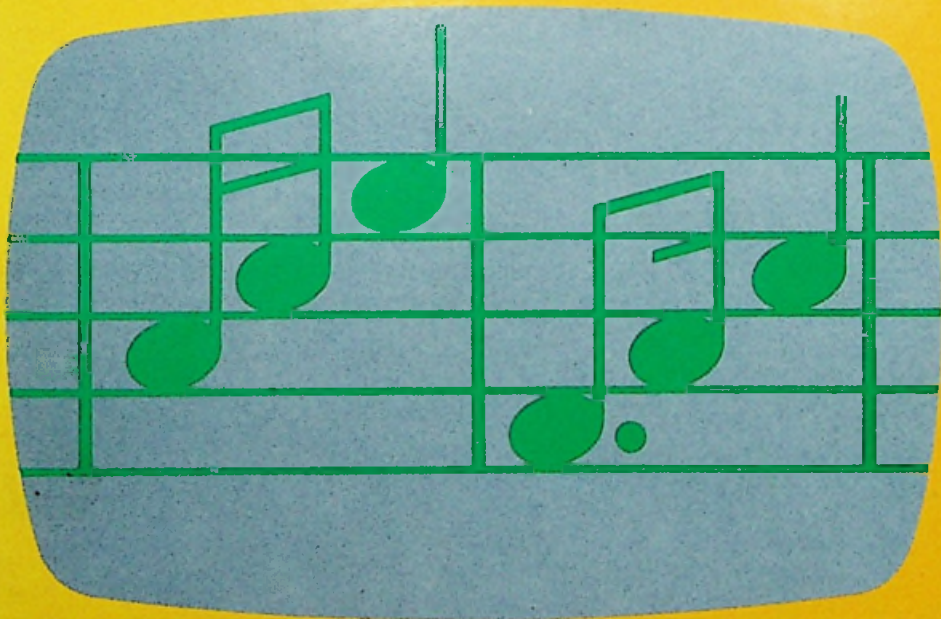


inklusief  
**MIDI**

# MUZIEK

MET DE

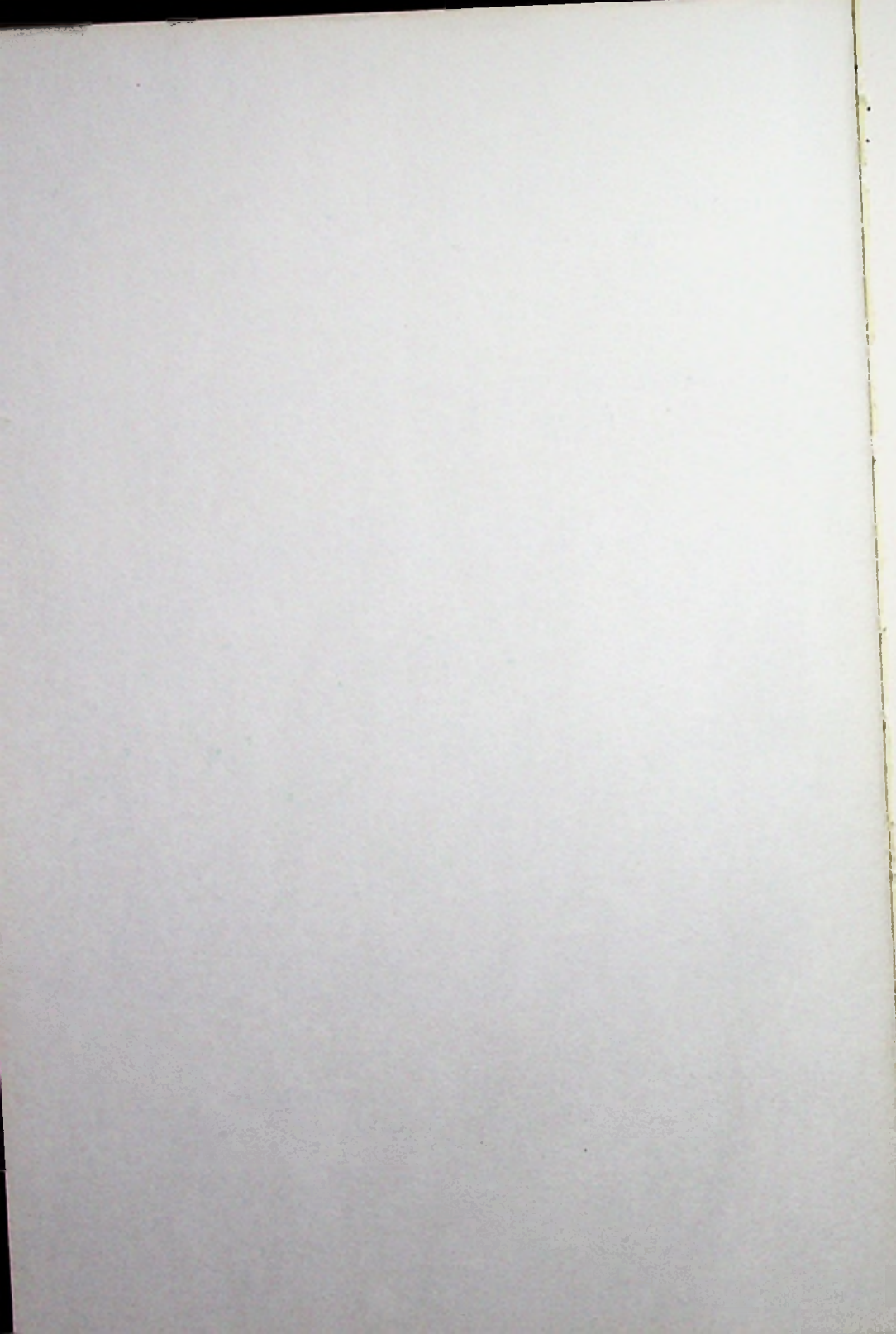
# COMPUTER



**Interface** de schakelingen tussen elektronische  
instrumenten, synthesizers en computers

De Historie v/d Radio enfold

De Muiderkring



# MUZIEK met de COMPUTER



Oorspronkelijke titels: Computer Music Projects  
Midi Projects  
Vertaling: Jos Verstraten

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Penfold, R. A.

Muziek met de computer: interface schakelingen tussen elektronische muziekinstrumenten, synthesizers en computers / R. A. Penfold; (vert. uit het Engels door Jos Verstraten). - Weesp: De Muiderkring. - Ill.  
Vert. van: Computer music projects. - Londen: Babani, 1985; Midi projects. - Londen: Babani, 1986.  
ISBN 90-6082-271-4.  
SISO 786.96 UDC 681.3.06:78 NUGI 933  
Trefw.: computermuziek.

---

© 1985/1986 Bernard Babani (Publ.) LTD., England  
© 1987 De Muiderkring BV, Weesp

ISBN 90 6082 271 4

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm, magneetdrager of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.



R.A.Penfold

BIBLIOTHEEK  
N.V.H.R.

# **MUZIEK MET DE COMPUTER**

**Interface schakelingen tussen  
elektronische muziekinstrumenten,  
synthesizers en computers**



**DE MUIDERKRING B.V. - WEESP**  
UITGEVERIJ VAN TECHNISCHE BOEKEN EN TIJDSCHRIFTEN

# Inhoud

Inleiding .....	7
<b>Hoofdstuk 1</b>	
<b>Analoge interfacetechnieken</b>	
Inleiding .....	9
Het gate-sigitaal .....	9
Het CV-sigitaal .....	10
Computerpoorten .....	12
- de poort van de VIC-20 .....	13
- de poort van de Commodore 64 .....	15
- de poort van de BBC .....	16
- de poort van de MTX512/500 .....	16
- samenvatting .....	18
De digitaal naar analoog omzetter .....	18
Een CV-interface .....	20
- verhogen van de uitgangsspanning .....	22
Het opwekken van een gate-puls .....	24
- aanpassen van de gate-niveaus .....	25
Interfacer met de printer- of stuurknuppel-poort .....	26
Interfacing op de expansiepoort .....	28
Afregelen van de schakeling .....	32
Software .....	33
Besturing van polyfone synthesizers .....	35
Het in de computer inlezen van het klavier .....	39
Sequencer ideeën .....	42
Interfacing van de toetsenbordlezer .....	43
<b>Hoofdstuk 2</b>	
<b>Het nabootsen van percussie-effecten</b>	
Inleiding .....	45
Drum-synthese met vaste instelling .....	45
Omhullende vorm generator .....	48
Een spanningsgestuurde oscillator .....	52
Een uitgebreide drumsimulator .....	54
Ruisgenerator .....	55
Metaalachtige geluiden .....	58
Universele menger .....	59
Software .....	61
<b>Hoofdstuk 3</b>	
<b>Digitale synthese van geluiden</b>	
Inleiding .....	62
Softwaregestuurde geluidssynthese .....	62
Digitale recordertechnieken .....	66
De software .....	69
Compander .....	72
Microfoon voorversterker .....	75
Echo .....	77

**Hoofdstuk 4****Basisbegrippen van MIDI**

Inleiding .....	78
MIDI en computers .....	78
Seriële gegevens .....	79
MIDI en RS-standaarden .....	80
Het volledige MIDI-pakket .....	81
MIDI-modes .....	83

**Hoofdstuk 5****Interfacing tussen MIDI en computers**

Inleiding .....	85
De 6402 UART .....	85
MIDI-interface voor computers met poortuitgang .....	87
Aansluiten van de interface op de computer poort .....	91
Software voor de BBC model B .....	92
Software voor de VIC-20 .....	93
Software voor de Commodore 64 .....	94
MIDI-interfacing op de processorbus .....	94
- aansluiten op de Commodore VIC-20 .....	97
- aansluiten op de Commodore 64 .....	101
- aansluiten op de BBC model B .....	103
- aansluiten op de Sinclair spectrum .....	105
- aansluiten op de Schneider CPC 464 .....	108
- aansluiten op de Schneider CPC 6128 .....	111
- aansluiten op de Enterprise 64/128 .....	112
- aansluiten op MSX-computers .....	115
- aansluiten op MTX-computers .....	115
- aansluiten op de Sinclair ZX81 .....	119
- aansluiten op de Sinclair QL .....	123
- aansluiten op overige computers .....	127

**Hoofdstuk 6****Van MIDI naar CV**

Inleiding .....	128
Het terugwinnen van gatepulsen .....	128
Van MIDI naar CV .....	135
- afregelen .....	137
- het verschuiven van de toonwaarde .....	138
Universele voeding .....	139
Meerdere kanalen .....	139
MIDI-expander .....	141

**Appendix**

Aansluitgegevens van gebruikte halfgeleiders en geïntegreerde schakelingen ....	143
---	-----



# THEORY

## THEORY

THEORY

## THEORY

THEORY

## THEORY

THEORY

## THEORY

THEORY

# Inleiding

Hoewel computers per definitie digitale apparaten zijn en elektronische muziekinstrumenten per definitie hoofdzakelijk met analoge schakelingen werken, blijkt dat beiden in de praktijk toch voor elkaar geschapen zijn.

Door moderne geïntegreerde schakelingen, die het mogelijk maken digitale signalen om te zetten in analoge spanningen en analoge spanningen te digitaliseren, kan men de krachtige mogelijkheden van de digitale computertechniek inzetten voor het besturen van analoge muziekinstrumenten, zoals synthesizers en drummachines.

In dit boek worden op een zeer eenvoudige en begrijpelijke wijze een aantal basistechnieken beschreven die het mogelijk maken analoge muziekschakelingen te besturen uit gegevens die in digitale vorm zitten opgeslagen in het geheugen van een computer.

Gestart wordt met de bespreking van de besturing van "oude" volledig analoog werkende synthesizers met de meest populaire huiscomputers. De vraag die daarbij aan de orde komt is hoe men de gestandaardiseerde gate-pulsen en analoge CV-spanningen door de computer kan laten genereren. De twee basissystemen die daarvoor bestaan, namelijk rechtstreeks uit de processorbus van de computer of uit een van de beschikbare computerpoorten, worden overzichtelijk besproken voor Commodore, BBC, Sinclair, MSX en enige andere fabrikaten.

Naast een uitvoerige bespreking van de daarvoor noodzakelijke elektronische schakelingen, die overigens zeer eenvoudig zelf in elkaar te solderen zijn, wordt ook de nodige aandacht besteed aan de voor de besturing noodzakelijke BASIC-programma's.

In het tweede hoofdstuk passeren enige schakelingen de revue voor het elektronisch nabootsen van allerlei percussie-effecten.

In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd hoe men geluiden kan samenstellen uit digitale codes. Digitale geluidssynthese dus, welke op dit moment professioneel in het middelpunt van de belangstelling staat. Na het lezen van dit hoofdstuk kan men eenvoudige, zichzelf repeterende geluidseffecten zelf vorm geven en naar wens van diskette of kassette in het geheugen laden en reproduceren.

Het omgekeerde, met de microfoon opgevangen geluiden digitaliseren en opslaan in de computer, komt eveneens aan de orde. Wel moet men voor het toepassen van deze technieken enige ervaring hebben in het zelf schrijven van eenvoudige machinecode- of assemblerprogramma's.

De band tussen computer en elektronische muziek werd officieel bezegeld door het instellen van de internationale MIDI-standaard. De principes die aan dit systeem ten grondslag liggen komen uitvoerig aan de orde in het vierde hoofdstuk.

De logische daar op volgende stap, het koppelen van de computer aan de MIDI-standaard, wordt in het volgende hoofdstuk gezet. Ook hier worden zowel de technieken

beschreven die gebruik maken van een bestaande poort als die rechtstreeks inwerken op de signalen van de in de computer gebruikte processor. In elf paragraafjes worden even zoveel populaire huiscomputers geschikt gemaakt om MIDI-signalen te genereren.

Natuurlijk komt ook de omgekeerde bewerking, het omzetten van seriële synthesizers, aan de beurt. Hiervoor wordt hoofdstuk 6 gereserveerd, waar niet alleen besproken wordt hoe men met enkele eenvoudige IC'tjes gate-pulsen en CV-signalen uit de MIDI-gegevens kan afleiden, maar ook wordt uitgelegd hoe men deze eenvoudige principes kan uitbreiden tot meerdere kanalen en verschillende apparaten.

Na bestudering van dit boek zal in feite alleen de eigen verbeelding en durf een grens stellen aan de omvang van het zelf ontwikkelde systeem. Zowel lezers die alleen behoefte hebben aan een eenvoudig drumsynthesizertje, bestuurd uit een goedkope ZX81 als muzikanten die dromen van een volledig computergestuurd elektronisch symfonie-orkest komen aan hun trekken!



## Analoge interfacetechnieken

### Inleiding

Zelfs in het grijze verleden, toen computers van die apparaten waren waarvoor een gebouw opnieuw moest worden ingedeeld, bestond er al een primitief communicatiesysteem tussen synthesizers.

Elke synthesizer werkt immers met een aantal gate- en CV-signalen en deze signalen bepalen volledig de werking van het instrument. Een gatesignaal van het ene apparaat kan de werking van een ander apparaat beïnvloeden! Bovendien zijn de karakteristieken van deze signalen gestandaardiseerd. De CV-signalen werken met een karakteristiek van 1 volt per octaaf, de gatesignalen zijn TTL-compatible.

Hoewel de moderne apparaten niet meer met dit soort recht-toe-recht-aan signalen werken, mag men niet vergeten dat er nog een heleboel "oude" synthesizers in gebruik zijn en er zelfs een levendige tweede hands markt voor deze apparaten bestaat.

Het is dus zonder meer noodzakelijk een afzonderlijk hoofdstuk te wijden aan het met de computer besturen van deze eerste generatie muziekmachines.

Iedere synthesizer met standaard gate- en CV-ingangen, zij het mono- of polyfoon, kan in samenwerking met een computer en een geschikte interfaceschakeling, omgevormd worden tot een zeer universeel instrument. Zelfs het geheugen van de kleinste huiscomputer is in staat zeer grote hoeveelheden klanken en noten te bevatten.

De acht bits databus structuur van deze machines kan 256 verschillende waarden aan een analoge spanning toekennen, hetgeen meer dan voldoende is voor het genereren van de analoge CV-spanningen voor het aansturen van de spanningsgestuurde generatoren van de synthesizers. Daarnaast levert een computer per definitie TTL-compatible digitale signalen af, zodat het opwekken van de gatepulsen ook al geen problemen oplevert.

Maar voordat wij ons kunnen bezinnen over de manier waarop computer en synthesizer met elkaar kunnen samenwerken is het noodzakelijk enige duidelijke afspraken te maken over wat wij nu precies bedoelen als we het hebben over "gate"- en "CV"-signalen.

Bovendien is het zinvol om even stil te staan bij de manier waarop de meest populaire huiscomputers hun interne mijmeringen aan de buitenwereld prijs geven.

### Het gatesignaal

Zoals reeds vermeld in de inleiding zijn de gatesignalen meestal TTL-compatible. Dit betekent dat het signaal zeer klein is (kleiner dan +0,8 volt) als het systeem in rust is en positief wordt (groter dan +4 volt) als een toets op het klavier wordt ingedrukt. Het gatesignaal wordt in de synthesizer gebruikt voor het sturen van de ADSR-schakeling van een stem.

Er zijn echter ook synthesizers in de handel - al kan men daar langzaam maar zeker

antiquarische waarde aan toekennen - die voorzien zijn van eenvoudige omhullende schakelingen waarmee men alleen de attack en decay kan instellen. Deze schakelingen hebben geen behoefte aan een gatesignaal en deze stuursignalen worden vervangen door zogenoemde triggerspanningen.

Het verschil tussen een gatesignaal en een triggerspanning is dat de eerste aanwezig blijft zolang men een toets ingedrukt houdt en de tweede slechts gedurende ongeveer 2 milliseconde positief wordt op het moment dat men op de toets drukt. Triggeringen kunnen in de meeste gevallen zonder problemen gestuurd worden met gatesignalen. Het omgekeerde is echter niet mogelijk.

Computers kunnen echter zonder meer in staat worden geacht om zowel gate- als trigger-ingangen te bevredigen. Een triggersignaal is immers niets anders dan de gedifferentieerde gatespanning.

In niet alle apparaten wordt gebruik gemaakt van de standaard TTL-niveaus (kleiner dan +0,8 en groter dan +4 volt). In sommige gevallen werkt de interne synthesizerlogica met 0 en +15 volt. De te lage TTL-uitgangsspanningen van onze computer moeten dan door middel van een niveau-aanpasser opgepept worden tot signalen waar de synthesizerlogica een oor naar heeft. Wij komen daar later op terug.

Kort samengevat kan men stellen dat zowel stokoude baasjes met triggeringangen als recentere apparaten met gate-ingangen in de meeste gevallen zonder enig probleem uit een computer gestuurd kunnen worden.

### Het CV-signaal

Het CV-signaal is een analoge spanning die wordt gebruikt om een stenschakeling in de synthesizer een toon met een bepaalde frequentie te laten genereren. We onderscheiden twee standaarden.

De allereerste generatie van synthesizers was uitgerust met een lineaire VCO. Dat wil zeggen dat er een lineair verband bestaat tussen de CV-stuurspanning van een VCO-schakeling en de frequentie die deze generator opwekt. Met andere woorden, als een stuurspanning van +1 volt een toontje met een frequentie van 100 Hz genereert, dan kan men er zeker van zijn dat een stuurspanning van +2 volt een signaal met een frequentie van 200 Hz tot gevolg heeft.

Dit systeem is echter nu volledig verlaten en alle moderne machines werken met een logaritmische VCO?. De internationale standaard schrijft voor, dat een spanningsverhoging van 1 volt overeen komt met één octaaf frequentieverhoging.

Als, om maar weer eens dat voorbeeld aan te halen, een stuurspanning van +1 volt overeenkomt met een frequentie van 100 Hz, dan zal +2 volt 200 Hz opwekken, maar +3 volt geen 300 Hz maar 400 Hz en een spanning van +4 volt zal een frequentie van 800 Hz opwekken.

Elke spanningsstijging met 1 volt heeft dus een verdubbeling van de frequentie van de VCO tot gevolg.

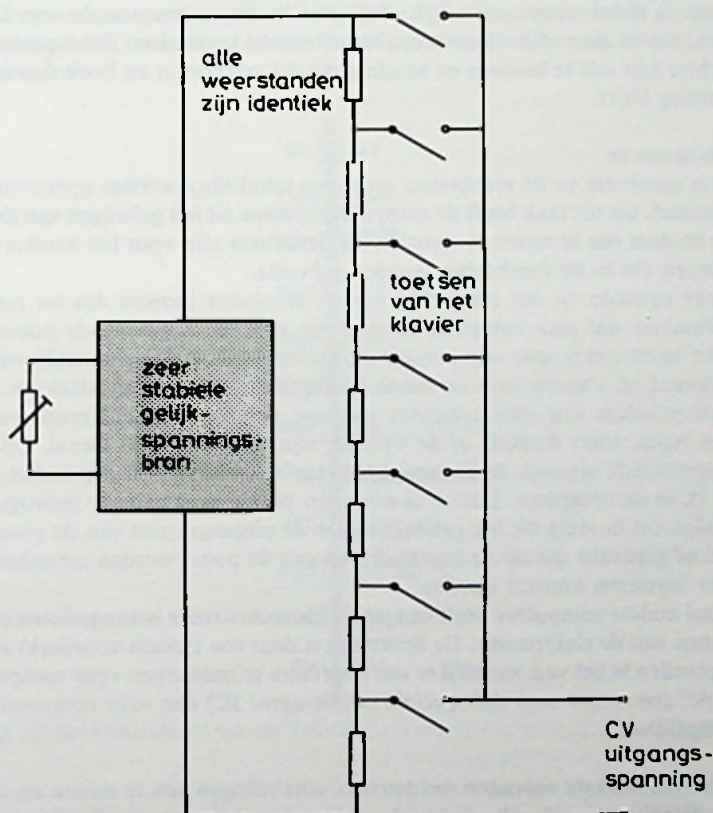
Men spreekt dan ook van een CV met een karakteristiek van 1 volt per octaaf. Een octaaf komt immers overeen met een verdubbeling van de frequentie.

Nu komt het ons, computer-interfacers, eigenlijk heel erg goed uit dat het logaritmische systeem gestandaardiseerd is. De 1 volt per octaaf karakteristiek kan immers erg goed met een computer gesimuleerd worden.



Om dat duidelijk te maken moeten wij eerst even stil staan bij de manier waarop een traditioneel synthesizertoetsenbord de CV-spanningen opwekt.

Zoals uit afbeelding 1-1 blijkt, zijn alle toetsen van het toetsenbord aangesloten op de aftakkingen van de weerstandsdeler. Alle weerstanden zijn even groot en de volledige serieschakeling is verbonden met een zeer stabiele referentiespanning. De weerstandsdeler verdeelt deze spanning in een aantal even grote deelspanningen en als wij de onderste horizontale lijn als referentie nemen zal het duidelijk zijn dat hoe hoger wij de weerstandsladder beklimmen, hoe groter de spanning is die wij op een knooppunt aantreffen. Als de totale spanning gelijk is aan  $M$  volt en er zijn in totaal  $n$  weerstanden geschakeld, dan staat er over elke weerstand een spanning van  $M/n$  volt. Bij het indrukken van een toets wordt een veelvoud van deze portie  $M/n$  naar de uitgang gestuurd. De stabiele referentie wordt nu zo afgeregeld dat  $M/n$  gelijk is aan 83,33 millivolt. Een octaaf beslaat immers 12 noten en wil men zich houden aan de 1 volt per octaaf karakteristiek dan moet elke noot uit het octaaf overeen komen met  $1/12 = 0,08333... \text{ volt!}$



Afbeelding 1-1 Standaardschakeling voor het opwekken van een CV-sigitaal door middel van een klavier.



Samenvattend kunnen wij stellen dat een traditioneel toetsenbord een gelijkspanning opwekt, die stapsgewijs kan variëren tussen een minimale en een maximale waarde, waarbij de stappen even groot zijn, namelijk 83,33 millivolt.

Computerdata bevindt zich in het interne van de machine in de vorm van 8 bits brede woorden. Deze combinatie van "enen" en "nullen" kan in een gelijkspanning worden omgezet door het byte, het binaire woord, aan een digitaal naar analoog omzetter (een DAC) aan te bieden. Uit de aard van het principe kan de uitgang van deze schakeling alleen stapsgewijs van waarde veranderen. De minimale ingangsvariatie ontstaat als het minst belangrijke bit van de acht (het LSB) van "nul" naar "een" gaat of vice versa. Bij de meeste DAC's heeft zo'n codeverandering een variatie op de gelijkspanning op de uitgang van ongeveer 10 millivolt tot gevolg. Men kan deze kleine spanningssprong door middel van een versterkertje oppeppen tot de voor deze specifieke toepassing gewenste waarde van 83,33 millivolt.

De oude lineaire VCO's zijn niet zo gemakkelijk uit een computer te sturen. De spanningsstijgtijden voor het omschakelen van de ene noot naar de volgende is immers niet constant, maar afhankelijk van de plaats in de toonladder waarop men zich bevindt. In principe is elektronisch natuurlijk alles op te lossen en men zou dus een DAC kunnen gebruiken en deze afsluiten met een logaritmische versterker. Zo'n speciale versterker is echter niet zelf te bouwen en vandaar dat dit systeem in dit boek dan ook buiten beschouwing blijft.

### **Computerpoorten**

Tussen de computer en de synthesizer moet een schakeling worden opgenomen, interface genoemd, die tot taak heeft de computergegevens uit het geheugen van de machine te halen en deze om te zetten in signalen die bruikbaar zijn voor het aansturen van de schakelingen die in de synthesizer worden gebruikt.

De binaire signalen uit het inwendige van de computer moeten dus ter beschikking staan. Vandaar dat elke computer is voorzien van een zogenoemde poort (Engels: port), een soort stekker met vele contacten, die meestal op de achterzijde van de kast is gemonteerd en waarop men de meest belangrijke signalen kan aftakken.

Nu is echter helaas niet elke computer voorzien van een even universele poort.

Sommige types, zoals de BBC of de VIC-20, zijn wat dit betreft ideaal. Op de poort staan zogenaamde ingangs- en uitgangslijnen ter beschikking, die afgeleid zijn van een speciaal IC in de computer. Dat IC is een soort politie-agent, die zo geprogrammeerd kan worden dat de data uit het geheugen naar de uitgangslijnen van de poort worden gestuurd of gegevens die op de ingangslijnen van de poort worden aangeboden in de computer ingelezen kunnen worden.

Een aantal andere computers heeft een poort die rechtstreeks is aangesloten op de processorlijnen van de elektronica. De Spectrum is daar een typisch voorbeeld van. In de meeste gevallen is het veel moeilijker om interfaces te ontwerpen voor computers zonder "PIA" (zo noemt men dat speciale politie-agent IC) dan voor computers met in- en uitgangslijnen.

Het wordt ten sterkste ontraden rechtstreeks schakelingen aan te sluiten op de interne bus van de computer. Tenzij men heel goed weet wat men doet, zijn de resultaten in de meeste gevallen een defecte computer en een hoge reparatierekening. Gelukkig zijn er voor populaire computers met een directe poort, zoals de Spectrum, talrijke expan-

siepoorten op de markt. Deze schakelingen doen eigenlijk precies hetzelfde als de PIA in de computers met uitgebreide poort.

Zo'n expansiepoort noemt men ook wel eens parallelle interfaces en elke fabrikant heeft zo zijn eigen manieren om een en ander met de elektronica van de computer te verbinden. Men moet dus goed op de hoogte zijn van de typische eigen gebruiksfaciliteiten van elke poort.

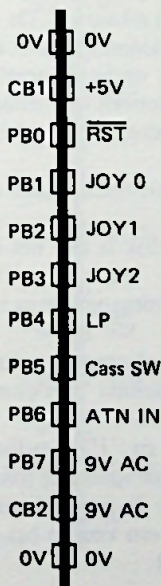
### De poort van de VIC-20

De poortansluitingen van de VIC-20 zijn getekend in afbeelding 1-2. De +5 volt en 0 volt aansluitingen zijn zeer belangrijk, want dank zij de +5 volt kan men kleine externe schakelingen rechtstreeks uit de hoofdvoeding van de computer voeden en de 0 volt of massa is de retourleiding voor alle schakelingen en signalen en dus ook voor de zelf te bouwen interfaces.

De meest belangrijke signaallijnen zijn de acht PB-signalen, genummerd van PB-0 tot en met PB-7.

Deze vormen een set van universele in- en uitgangslijnen, waarmee men acht bit brede woorden in de computer kan inlezen of uit de computer halen.

Op de allereerste plaats moet men aan de PIA, de verkeersagent in de computer die de poort controleert, medelen of het de bedoeling is de PB-lijnen als invoer of als uitvoer te gebruiken.



Afbeelding 1-2 Gebruikerspoort van de VIC-20.

De PIA beschikt daarvoor over een zogenoemd data direction register, DDR, waarvan de naam voor zichzelf spreekt. Dit register bevindt zich op een bepaald adres en bij de VIC-20 kan men het DDR bezoeken op adres 37138.



Elke bit van het DDR bepaalt of de corresponderende lijn als in- of uitgang door het leven gaat. Een "0" definieert de lijn als ingang, een "1" als uitgang.

Nu kan in het adres van het DDR een decimaal getal tussen 0 en 255 geschreven worden. Elk getal correspondeert met een bepaalde combinatie van "0" en "1" bits. Dit zogenoemde binaire telsysteem is voor de niet ingewijde tamelijk lastig. Vandaar dat tabel 1.1 een poging doet een en ander duidelijk te maken.

De getallen in de tabel zetten de corresponderende PB-lijn op "1" en definiëren deze lijn dus als uitgang. Nu is het wel de bedoeling dat de status van alle lijnen in een keer, dus als een getal tussen 0 en 255 in de geheugencel wordt geprogrammeerd.

Hoe gaat dat?

Datalijn	PB0	PB1	PB2	PB3	PB4	PB5	PB6	PB7
Decimale gewichtswaarde	1	2	4	8	16	32	64	128

Tabel 1-1 Het decimale gewicht van elke PB-uitgang is belangrijk omdat deze getallen of sommen ervan ge-POKE'ed moeten worden om bepaalde lijnen hoog te maken.

Zeer eenvoudig. Bepaal eerst welke lijnen als uitgang geprogrammeerd moeten worden en tel de getallen van deze lijnen bij elkaar op. De som moet in het DDR-register worden ingelezen. Als bijvoorbeeld de lijnen PB-0 tot en met PB3 als uitgang gedefinieerd moeten worden, dan moet men het decimale getal 15 ( $1 + 2 + 4 + 8$ ) inlezen. Vaak zal men alle lijnen als uitgang nodig hebben. De totale som van alle tabelgetallen is 255 en door dit getal in het geheugenadres in te lezen weet ons DDR dat alle PB-lijnen uitgang moeten worden.

Voor het inlezen van het decimale getal staat een handige BASIC-instructie ter beschikking.

Met POKE 37138, n (waarbij n gelijk is aan het berekende getal) weet de computer raad.

Het DDR bepaalt alleen de in- of uitgangstatus van de acht PB-lijnen en leest niets in of uit.

Om gegevens op de lijnen te zetten of gegevens van de lijnen te lezen staat een tweede register ter beschikking, het zogenoemde "peripheral register". Bij de VIC-20 woont dit register op adres 37136.

Door de bits van dit adres met "0" en "1" te vullen kan men de gegevens op de lijnen zetten. Een hoog bit "1" zet een hoge spanning (ongeveer +5 volt) op de corresponderende lijn, een laag bit "0" maakt de lijn gelijk aan massa (ongeveer 0 volt).

Ook nu moet men alle gegevens in een keer in het adres POKE-en en wel op dezelfde manier als beschreven bij het DDR.

Een voorbeeldje.

Wil men PB-0 tot en met PB-3 positief maken en de overige lijnen nul, dan moet men het register vullen met decimaal 15. Want 15 is ook nu weer gelijk aan  $1 + 2 + 4 + 8$ .

In de meeste gevallen zal men bij het ontwerpen van synthesizerinterfases gegevens uit de computer moeten uitlezen. De bits van het DDR zullen dus meestal allemaal "1" zijn. Voor de volledigheid wordt vermeld dat men de waarde van lijnen die als ingang geprogrammeerd zijn, kan uitlezen met de PEEK-functie.



De acht binaire signalen op de PB-lijnen (als ingang geprogrammeerd) worden door de computer in het PR ingevuld.

Men kan dit adres uitlezen door:

## PEEK (37136)

in te geven.

De meest voor de hand liggende manier om dit gegeven verder te verwerken is door op het scherm te schrijven met:

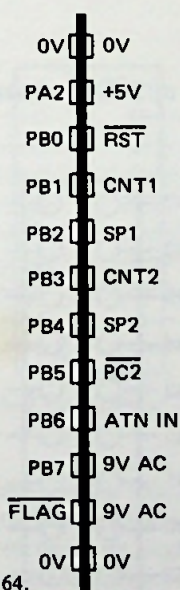
## PRINT PEEK (37136)

### De poort van de C-64

Afbeelding 1-3 geeft de aansluitgegevens van de poort van de Commodore-64.

Men merkt onmiddellijk de gelijkenis met deze van de VIC-20, hetgeen niet zo verbaazingwekkend is, want tenslotte komen beide computers uit hetzelfde nest.

Heeft men alleen de +5 volt voeding, de massa en de PB-lijnen nodig, dan zijn beide poorten zelfs identiek aan te sluiten.



Afbeelding 1-3

Gebruikerspoort van de Commodore 64.

Dat een-eiige tweeling gedrag geldt echter alleen wat de uiterlijke (hardware) kant van de zaak betreft. Softwarematig zijn er verschillen en wel op de adressen waar de twee belangrijke registers thuis horen.

Bij de Commodore-64 zijn dat:

56579 voor het DDR;

56577 voor het PR.

De poort van zowel de VIC-20 als de Commodore-64 vereist het gebruik van een  $2 \times 12$  contacten stekker met een contactafstand van 0,156 inch en van het vrouwelijk geslacht.

### De poort van de BBC

De poort van de BBC wordt voorgesteld in afbeelding 1-4.

Deze computer bestuurt zijn poort op een vrijwel identieke manier als zijn Commodore broeders, dus ook met een data direction register en een peripheral register.

De adressen van beide registers zijn:

&FE62 voor het DDR;

&FE60 voor het PR.

Helaas beschikt het BBC BASIC-dialect niet over de begrippen PEEK en POKE.

Om een adres aan te spreken moet men een vraagteken voor het getal van het adres zetten.

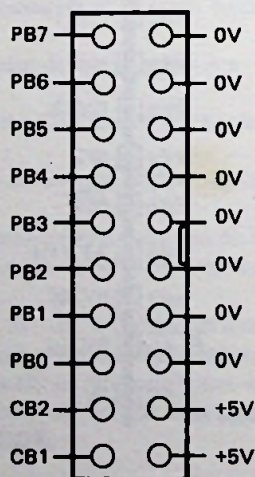
?&FE62 = 255

leest bijgevolg de decimale waarde 255 (BIN 11111111) in het adres van het DDR en zet alle PB-lijnen als uitgang.

De in het poortregister ingelezen waarde kan op het scherm worden gezet met:

PRINT ?&FE60

De poort kan worden aangesloten op externe schakelingen door gebruik te maken van een 20-polige IDC connector.



Afbeelding 1-4 Gebruikerspoort van de BBC model B.

### De poort van de MTX512/500

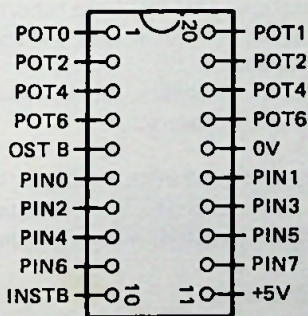
De poort van deze computers wijkt op een aantal punten fundamenteel af van de reeds besproken computers.

Zoals uit het aansluitschema van afbeelding 1-5 blijkt hebben deze computers afzonderlijke in- en uitgangslijnen. Zoals te verwachten is zijn de POT-lijnen bedoeld als uitgang en de PIN-lijnen als ingang.

Hoewel dit systeem in principe veel universeler en gemakkelijker in het gebruik is dan de tot nu toe behandelde principes met dubbele functielijnen en twee registers, wordt dit voordeel voor een groot deel weer teniet gedaan doordat enige vaak gebruikte computerlijnen op de poort van de MTX-computers ontbreken.

Het tweede fundamentele verschil is dat de poort niet toegankelijk is aan de achterzijde van de computer, maar terug te vinden is op de grote printplaat met alle elektronische onderdelen in de computer. De poort is uitgevoerd in de vorm van een 20-polig IC-voetje en de bedoeling is een speciaal stekertje, met mechanisch aangebrachte bandkabel in dit voetje te duwen en de kabel via een uitsparing in de achterwand naar buiten te voeren. Helaas is zelfbouw van zo'n constructie niet eenvoudig en zijn kant-en-klare bandkabels met 20-polige DIL-connectoren even zeldzaam als water in de woestijn. Gelukkig kan men met enig kunst en vliegwerk gebruik maken van 2 standaard 14-polige DIL-connectoren, die tot 10 polen worden geamputeerd.

Een derde fundamenteel verschil tussen de Commodore en BBC computers en de MTX-machines is dat deze laatsten gebruik maken van een Z80 als microprocessor, terwijl de eerstgenoemde computers hun wel en twee in handen leggen van een 6502 of de vrijwel identieke 6510.



Afbeelding 1-5 Gebruikerspoort voor MTX-computers.

Dit heeft namelijk verregaande consequenties voor de manier waarop men in- en uitgangssystemen moet aanspreken. De Z80 heeft afzonderlijke systemen voor het aanspreken van het interne geheugen en de in- en uitgangsadressen en men kan dus niet werken met de bekende PEEK en POKE functies en instructies.

Z80 machines (ook de Spectrum behoort tot deze familie) beschikken meestal over speciale BASIC-statements om de in- en uitgangen te programmeren.

Zo zal de instructie OUT gegevens verzenden naar de poortuitgangen en de functie INP gegevens van de poortingangen inlezen.

De gebruikerspoort heeft bij de MTX-computers het adres 7 (let wel: dit is geen geheugenadres!) meegekregen en dus is het logisch dat de BASIC-instructie

OUT 7, X



de waarde van X naar de acht uitgangslijnen POT stuurt. Ook nu wordt X onder decimale vorm ingegeven en zal de computer automatisch dit getal omzetten in de corresponderende samenstelling van "1" en "0" signalen. Op een vrijwel identieke manier kan men met

## PRINT INP(7)

de binaire code op de acht PIN-lijnen omzetten in een decimaal getal op het scherm. Er is nog een eigenaardigheid waar men terdege rekening mee moet houden. De uitgangslijnen zijn tri-state en men moet de eveneens op de poort beschikbare OSTB (output strobe) "0" maken, dus verbinden met de massa, om de lijnen te activeren. Bij een open OSTB ligt deze ingang extern aan de +5 volt en dan zullen de acht uitgangslijnen doen alsof zij niet aanwezig zijn.

### Samenvatting

Uit deze korte bespreking van vier verschillende computers met hun in- en uitgangssloten blijkt duidelijk dat er weinig gestandaardiseerd is. Andere populaire computers, zoals de Spectrum's en de Atari's, werken weer met heel andere systemen. Het is dus duidelijk dat een grondige studie van de computer zonder meer noodzakelijk is, wil men in staat zijn het apparaat op een zinvolle manier te gebruiken voor het besturen van synthesizers en andere elektronische muziekinstrumenten. En met grondig bedoelel wij wel iets meer dan het standaard BASIC leren beheersen. Men zal specialistische literatuur moeten raadplegen om alle eigenschappen van het in- en uitgangssysteem van de computer te leren doorgronden.

Vaak zal men daarbij zelfs moeten vaststellen dat het noodzakelijk is de machinecode van de gebruikte processor te leren beheersen.

Laat u dit echter niet afschrikken! Verder in dit hoofdstuk komen wij terug met universele methodes, die bruikbaar zijn om interfaces op te zetten zonder gebruik te maken van de computerpoort of externe parallelle poortschakelingen.

### De digitaal naar analoog omzetter

Met de tot nu toe verzamelde wetenschap over hoe de binaire gegevens uit het computergeheugen naar de buitenwereld getransporteerd kunnen worden zijn wij in staat een eenvoudige interface te ontwerpen voor het genereren van een analoge CV- spanning. Zoals reeds gezegd hebben wij daar een zogenoemde digitaal naar analoog omzetter voor nodig, kortweg DAC genoemd.

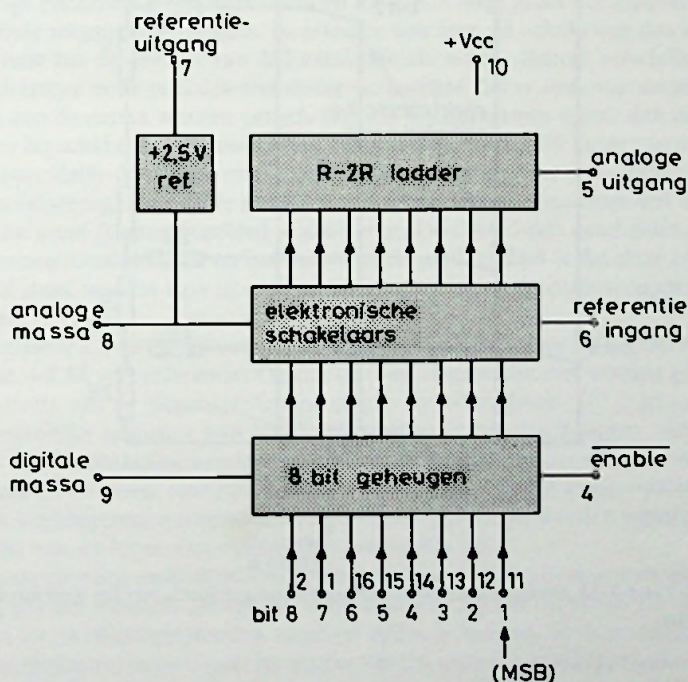
DAC's zijn tamelijk preciese schakelingen waarin een heleboel zeer nauwkeurige onderdelen gebruikt worden. Het is immers van het allergrootste belang dat de schakeling de digitale code uit de computer zo nauwkeurig mogelijk omzet in een analoge spanning. Elke onnauwkeurigheid uit zich in het vals klinken van de synthesizer.

Gelukkig bestaan er op dit moment een aantal redelijk goedkope volledig geïntegreerde DAC's. De door Ferranti onder familiecode ZN 4... op de markt gebrachte schakelingen zijn redelijk goed verkrijgbaar.

Een van de meest universele leden van deze familie is de ZN428E en dit IC zullen wij dan ook in onze schakelingen gaan gebruiken.

Afbeelding 1-6 geeft de interne blokschematische samenstelling van deze geïntegreerde digitaal naar analoog omzetter.

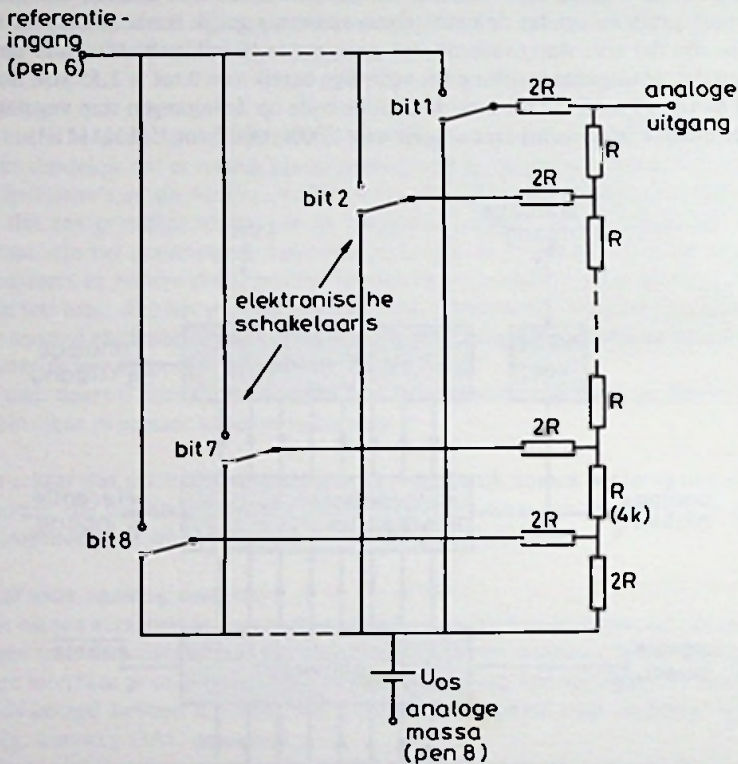
Het IC bevat een zeer nauwkeurige spanningsreferentie van +2,55 volt. Deze spanning wordt aangeboden aan een zeer complex, uit precisieweerstanden samengesteld, ladder-netwerk. Dit zogenoemd R- 2R netwerk is samengesteld volgens afbeelding 1-7. Een aantal weerstanden staan in serie en elk knooppunt wordt via een seriële weerstand aan een elektronische omschakelaar aangeboden. Deze schakelaar wordt gestuurd door een van de digitale ingangen en afhankelijk van het niveau op deze ingang zal de schakelaar naar de massa of naar de referentie schakelen. Het netwerk vertoont enige gelijkenis met dit van het traditionele toetsenbord, getekend in afbeelding 1-1. Er wordt tussen de massa en de referentiespanning een spanningsdelers gevormd. De spanningsdelers is afhankelijk van de stand van de elektronische schakelaars. Men kan aantonen dat op de uitgang 255 verschillende spanningswaarden kunnen ontstaan. Elke stap is even groot en omdat de beschikbare spanning gelijk is aan +2,55 volt zal het duidelijk zijn dat elke stap overeenkomt met precies 10 millivolt. Men kan bovendien aantonen dat de uitgangsspanning het volledige bereik van 0 tot +2,55 volt doorloopt in stappen van 10 millivolt als men de digitale code op de ingangen stap voor stap (volgens het binaire telsysteem) laat stijgen van "00000000" tot "11111111".



Afbeelding 1-6 Intern blokschema en aansluitgegevens van de ZN428E digitaal naar analoge omzetter.

Terug naar het interne blokschema van afbeelding 1-6. De schakelaars worden niet rechtstreeks gestuurd uit de acht digitale ingangen, maar via een tussengeschakelde "data latch". Dit is een soort klein geheugentje, waarin men de toestand van de acht

ingangen kan opslaan. Een smalle positieve puls op de ENABLE-ingang zorgt ervoor dat de momentele gegevens op de acht ingangen in het geheugen worden opgeslagen. Dank zij deze voorziening is het niet noodzakelijk dat de acht ingangen constant op een bepaalde code blijven staan. Het volstaat even de bij een gewenste uitgangsspanning horende code op de ingangen te zetten, een ENABLE-puls op te wekken om de ingangs-code in het IC op te bergen en een constante, bij deze code horende uitgangsspanning te produceren. Dit is van belang bij computers waarbij men via de poort directe toegang heeft tot de processorbus. De gegevens op de acht datalijnen kunnen na het inlezen in de DAC weer veranderen, zonder dat de schakeling daar last van heeft.



Afbeelding 1-7 Het R-2R netwerk in de DAC vertoont enige gelijkenis met het weerstandsnetwerk van een klavier.

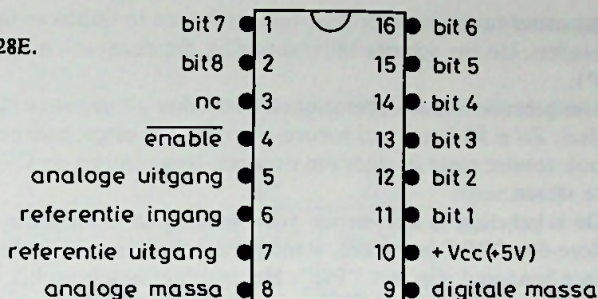
Afbeelding 1-8 geeft de aansluitcode van de in een 16-pens dual inline behuizing ondergebrachte ZN824E.

#### Een CV-interface

De ZN428E is bijna alles wat men nodig heeft om de acht data-uitgangen van een computerbus te gebruiken voor het genereren van een computerbestuurde analoge CV-spanning.



Afbeelding 1-8 Bovenaanzicht  
van de behuizing van de ZN428E.



Kijk maar naar afbeelding 1-9, waaruit duidelijk blijkt dat het genoemde IC al het werk kan doen. Het enige dat er verder nodig is, is een operationele versterker om de uitgangsspanning van de DAC aan te passen aan de karakteristieken van de CV-ingang van de synthesizer.

In de vorige paragraaf werd gesteld dat de ZN428 in staat is tot het genereren van 255 verschillende uitgangsspanningen. In principe zou men de schakeling dus kunnen gebruiken voor het opwekken van 255 verschillende noten. Zoveel verschillende noten heeft men echter in de praktijk niet nodig en vandaar dat er twee van de acht digitale ingangen aan de massa worden gelegd. De acht bit omvormer wordt dan omgebouwd tot een zes bit schakeling, die een bereik heeft van 63 noten. Dit komt dus overeen met vijf octaven. Zelfs dit is nog meer dan de toetsenborden van de meeste synthesizers kunnen produceren. De meeste moderne CV-schakelingen zijn echter wel in staat signalen in dit grote frequentiegebied te genereren. De DAC heeft gescheiden analoge en digitale massa-aansluitingen en hoewel het niet noodzakelijk is dat deze op hetzelfde potentiaal staan worden deze in onze schakeling wel met de gemeenschappelijke massa verbonden.

De condensator C1 en de weerstand R1 zijn noodzakelijk voor de goede werking van de interne +2,55 volt referentie. Omdat de twee laagste bits niet worden gebruikt, zal de stapgrootte van de uitgangsspanning stijgen tot 40 millivolt. Dit is iets minder dan de noodzakelijke spanning van 83,33 millivolt voor het overbruggen van een noot. Vandaar dat de schakeling wordt opgevolgd door een versterkertje. De versterker is samengesteld op de meest eenvoudige manier: IC2 is een operationele versterker, waarvan de versterkingsfactor precies op de gewenste waarde kan worden ingesteld door het verdraaien van de loper van de instelpotentiometer P2.

In de meeste gevallen moeten operationele versterkers uit een positieve en een negatieve spanning gevoed worden, als men er zeker van wil zijn dat de versterker het ook nog goed doet als de uitgangsspanning ongeveer gelijk is aan nul. In deze schakeling wordt echter een moderne operationele versterker van het type CA3140E gebruikt. Deze schakeling is in staat spanningen tot tegen de 0 volt te verwerken zonder negatieve voeding. Operationele versterkers hebben echter de nare eigenschap dat de uitgangsspanning niet precies gelijk is aan de ingangsspanning maal de versterkingsfactor. Het verschijnsel dat daarvoor verantwoordelijk is noemt men de offset. Het is absoluut noodzakelijk deze offset te compenseren, omdat deze ertoe kan leiden dat de op de schakeling aangesloten synthesizer vals gaat klinken. Gelukkig heeft een op-amp interne voorzieningen meegekregen voor het "wegdraaien" van deze offset. Het volstaat een instel-

potmeter tussen twee pennen van het IC aan te sluiten en de looper met de massa te verbinden. Uit het schema blijkt duidelijk dat deze taak is weggelegd voor potentiometer P1.

Het gebruik van een operationele versterker als uitgangstrap heeft nog een groot voordeel. Zo'n IC heeft van nature een zeer lage uitgangsimpedantie en de uitgang is dan ook zonder meer in staat om over een lange leiding de CV-ingang van een synthesizer te sturen.

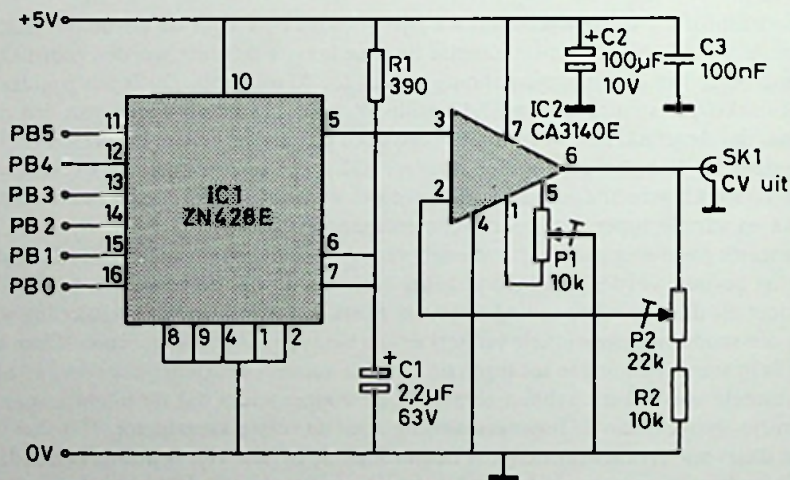
De schakeling is ontworpen voor gebruik in combinatie met een VIC-20, Commodore-64 of BBC computer. Vandaar dat de lijnen tussen de computerpoort en de interface benoemd zijn met "PB". Het is echter ook mogelijk de schakeling aan te sluiten op de poort van een MTX computer en de PB-lijnen worden dan verbonden met de POT-pennen van de poort.

### Verhogen van de uitgangsspanning

De basisschakeling van afbeelding 1-9 heeft een groot nadeel en dat is dat de uitgangsspanning niet groter kan worden dan ongeveer +3,5 volt. De schakeling wordt immers gevoed uit de +5 volt computervoeding en de operationele versterker kan met zo'n lage voedingsspanning slechts uitgangsspanningen van de genoemde +3,5 volt leveren.

Wil men het volle bereik van de DAC, dus 63 noten, gebruiken en gaat men uit van de standaardkarakteristiek van 1 volt per octaaf, dan leert een simpele berekening dat daarvoor meer dan 5 volt nodig is.

Nu is het mogelijk dat de gebruikte computer, naast de standaard +5 volt TTL-voeding, ook nog eens een niet gestabiliseerde voedingsspanning tussen de +9 en +15 volt op de poort ter beschikking stelt. Is dit het geval, dan kan men deze voedingsspanning verbinden met pen 7 van IC2. Deze pen wordt dan natuurlijk wel losgekoppeld van de +5 volt!

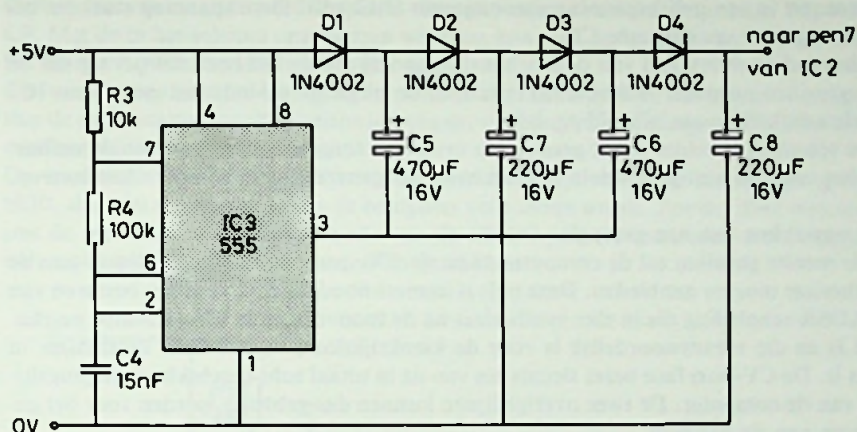


Afbeelding 1-9 Het afleiden van een analoge spanning uit de binaire datagegevens op de poort van de computer.

Heeft men echter alleen de beschikking over de +5 volt spanning, dan zal men via een kunstgreep uit deze spanning een hogere spanning moeten afleiden.

Een bruikbaar schema geeft afbeelding 1-10.

In deze schakeling wordt een standaard timer van het type 555 gebruikt als astabiele



Afbeelding 1-10 Een spanningsverdrivoudiger voor het voeden van de operationele versterker.

## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 1-9, 1-10, 1-11

### Weerstanden, 1/4 W:

R1 390  $\Omega$

R2 10 k $\Omega$

R3 10 k $\Omega$

R4 100 k $\Omega$

R5 1 M $\Omega$

R6 22 k $\Omega$

### Instelpotentiometers:

P1 10 k $\Omega$

P2 22 k $\Omega$

P3 2,2 M $\Omega$

### Condensatoren:

C1 2,2  $\mu$ F, 63 V

C2 100  $\mu$ F, 10 V

C3 100 nF, keramisch

C4 15 nF, MKH

C5 470  $\mu$ F, 16 V

C6 470  $\mu$ F, 16 V

C7 220  $\mu$ F, 16 V

C8 220  $\mu$ F, 16 V

C9 330 nF, MKH

### Halfgeleiders:

D1 1 N 4002

D2 1 N 4002

D3 1 N 4003

D4 1 N 4004

### Geïntegreerde schakelingen:

IC1 ZN 428 E

IC2 CA 3140 E

IC3 NE 555

IC4 CD 4001 BE

### Diversen:

2 x 8-pens IC-voetje

1 x 14-pens IC-voetje

1 x 16-pens IC-voetje

1 x standaard stekker

1 x standaard chassisdeel



multivibrator. Dit IC wekt een blokspanning op, die ongeveer 300 keer per seconde omschakelt tussen de massa en +5 volt. De frequentie wordt bepaald door de onderdelen R3, R4 en C4.

De ingewikkelde schakeling rond de vier dioden en vier elektrolytische condensatoren in een soort spanningsverdriëddubbeling, die de blokspanning op de uitgang van de timer omzet in een gelijkspanning van ongeveer +12 volt. Deze spanning staat ter beschikking over condensator C8.

De inwendige weerstand van deze schakeling is vrij groot. Dit heeft tot gevolg dat de spanning tot ongeveer +8 volt zakt als men de uitgang verbindt met pin 7 van IC2 uit de schakeling van afbeelding 1-9.

Deze spanning is echter groot genoeg om ervoor te zorgen dat de operationele versterker het volledig nuttige spanningsbereik voor het genereren van 63 noten kan leveren.

### **Het opwekken van een gatepuls**

In de meeste gevallen zal de computer naast de CV-spanning ook een gatepuls aan de synthesizer moeten aanbieden. Deze puls is immers noodzakelijk voor het besturen van de ADSR-schakeling die in elke synthesizer na de toonvormende CV-oscillator geschakeld is en die verantwoordelijk is voor de klankrijkdom, waartoe een synthesizer in staat is. De CV-interface bezet slechts zes van de in totaal acht beschikbare uitgangslijnen van de computer. De twee overige lijnen kunnen dus gebruikt worden voor het genereren van de gatepuls.

In principe zou men kunnen denken dat de 0 tot +5 volt spanningssprong, die op een uitgangslijn verschijnt bij het programmeren van deze lijn als "1" rechtstreeks aan de gate-ingang van de synthesizer kan worden aangeboden. De meeste gateschakelingen werken immers met TTL-compatibele signalen die hoogactief zijn.

Er kunnen echter problemen ontstaan doordat de breedte van de puls die door de computer wordt geleverd niet dat is wat de synthesizer ervan verwacht.

Synthesizers die met gate-trigger-pulsen werken zijn het minst kritisch. Een pulsbreedte van minimaal 2 milliseconde zal vrijwel steeds volstaan om de attack/decay schakeling aan te sturen. Programmeert men de computer in BASIC, dan is het door de traagheid van deze taal niet waarschijnlijk dat het mogelijk is een smallere positieve puls op een van de uitgangslijnen te zetten.

Anders is het natuurlijk als men in machinecode werkt. Dit soort programmering werkt zo snel dat men meestal een vertragingsslus in de software zal moeten opnemen om de breedte van de uitgangspuls zo groot te maken dat de attack/decay schakeling erop reageert.

Bij moderne uitgebreide ADSR-schakelingen is de breedte van de triggerpuls zeer belangrijk. Deze moet immers de tijdsduur van een toetsdruk simuleren. Men zou ingewikkelde softwareroutines kunnen schrijven waarmee het mogelijk is de breedte van elke gatepuls te definiëren. Veel eenvoudiger is het echter deze breedte hardwarematig in te stellen, door tussen de poort van de computer en de gate-ingang van de muziek-machine een monostabiele multivibrator met regelbare pulsbreedte op te nemen. Deze methode is natuurlijk niet erg universeel, omdat het niet mogelijk is voor elke noot een eigen specifieke gatebreedte te genereren. In de meeste gevallen zal het echter geen probleem zijn om de pulsbreedte met de hand tijdens het spelen van een in de computer opgeslagen melodie bij te regelen. Het schema van de monostabiele multivibrator is getekend in afbeelding 1-11.

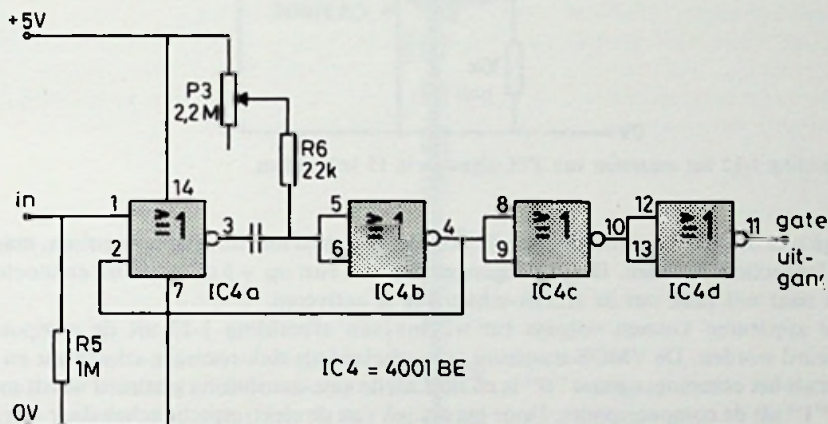
De schakeling maakt gebruik van de vier NAND-poorten uit een CMOS IC van het

type CD4001BE. De a- en b-poorten zijn geschakeld als traditionele niet hertriggerbare monostabiele multivibrator. Dat betekent dat de breedte van de uitgangspuls onafhankelijk is van de breedte van de ingangspuls. De door de computer geleverde puls kan zelfs breder zijn dan de ingestelde uitgangspuls zonder dat dit problemen oplevert.

De breedte van de puls wordt bepaald door de waarde van de onderdelen P3, R6 en C9. Met de in het schema opgenomen waarden kan men de breedte van de puls instellen tussen 5 milliseconden en 0,5 seconde.

De twee overige poorten uit het IC worden als niet-inverterende buffer aan de uitgang van de monostabiele multivibrator gehangen, waardoor de werking van de schakeling onafhankelijk wordt van de belasting.

De weerstand R5 is noodzakelijk om de schakeling te stabiliseren als de ingang open blijft, dus niet met de poort van de computer verbonden wordt. Zonder deze weerstand zou de zeer hoge ingangsimpedantie van de CMOS-poort ertoe leiden dat de uitgang volkomen willekeurig pulsen zou gaan opwekken.



Afbeelding 1-11 Een monostabiele multivibrator voor het opwekken van in breedte instelbare gatepulsen.

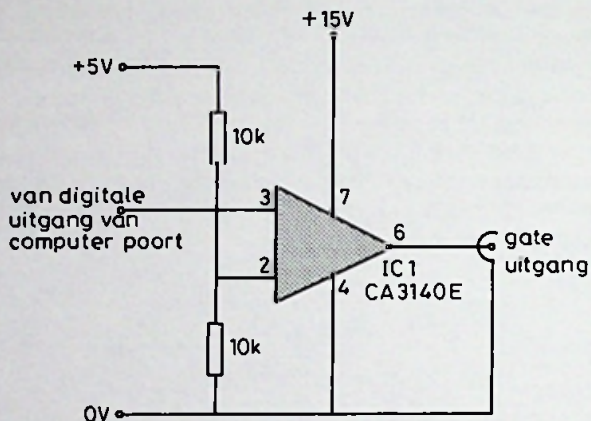
### Aanpassen van gate-niveaus

Er zijn een aantal synthesizers op de markt, die niet werken met de standaard +5 volt gatesignalen, maar met +15 volt pulsen. In sommige gevallen zullen deze apparaten toch nog wel reageren op TTL-pulsen van 5 volt. Maar omdat de goede werking dan zeer afhankelijk wordt van een aantal niet in de hand te houden toevalligheden, wordt dringend geadviseerd bij deze apparaten steeds gebruik te maken van een schakeling, die de +5 volt pulsen van de computer omzet in +15 volt signalen. Omdat de gatepulsen zeer laagfrequent zijn is er gelukkig niet veel elektronica nodig om zo'n niveau-aanpasser te bouwen. Per gatekanaal heeft men, zie afbeelding 1-12, een als comparator geschakelde operationele versterker nodig.

Een ingang wordt met behulp van een weerstandsdeler ingesteld op +2,5 volt. De tweede ingang gaat naar de computerpoort. Het IC wordt gevoed uit +15 volt en vandaar dat de uitgang omschakelt tussen 0 en ongeveer +12,5 volt.



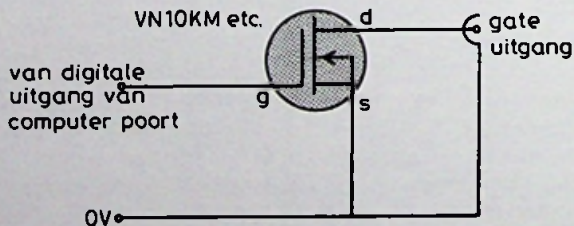
Het enige nadeel van deze schakeling is dat er een +15 volt voeding noodzakelijk is. Als men verschillende gatesignalen tot +15 volt moet oppeppen kan men de spanningsverdriedubbelaar van afbeelding 1-10 niet gebruiken, omdat deze schakeling niet in staat is voldoende stroom te leveren. Men zal dan een externe voeding moeten aanschaffen of de +15 volt aftakken uit de ingewanden van de synthesizer.



Afbeelding 1-12 het omzetten van TTL-signalen in 15 volt pulsen.

Enige zeer afwijkende synthesizers worden niet gestuurd met hoogactieve pulsen, maar met laagactieve signalen. De gate-ingangen zitten in rust op +5 of +15 volt en moeten even naar nul gaan om de ADSR-schakeling te activeren.

Deze apparaten kunnen volgens het schema van afbeelding 1-13 uit de computer gestuurd worden. De VMOS-transistor is geschakeld als elektronische schakelaar en is open als het computersignaal "0" is en sluit als de gate-aansluiting gestuurd wordt met een "1" uit de computerpoort. Door het sluiten van de elektronische schakelaar wordt de gate-ingang van de synthesizer met de massa verbonden en de ADSR wordt getriggerd.



Afbeelding 1-13 Het omzetten van een hoog TTL-signaal in een kortsluiting naar massa.

### Interfacer met de printer- of stuurknuppelpoort

Een aantal computers zijn uitgerust met een acht bit brede uitgangspoort, die is bedoeld voor het aansluiten van een parallel werkende printer. Ook sommige stuurknup-

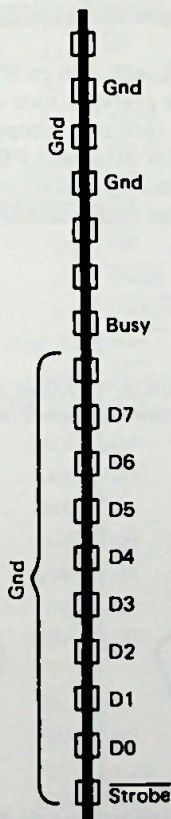


pelaansluitingen zijn voorzien van een acht bit brede bus, die zowel als in- en uitgang gebruikt kan worden.

Bij sommige computers kan men een van deze poorten gebruiken voor het besturen van de synthesizerinterfaces.

Een typisch voorbeeld van een computer waarbij dit heel goed mogelijk is, is de tamelijk populaire Amstrad (= Schneider) CPC-464. De printerpoort van deze computer is getekend in afbeelding 1-14.

Deze poort is fysisch toegankelijk met een 2x17-polige vrouwelijke edge-connector met een contactafstand van 0,1 inch. De uitgangen D0 tot en met D7 kunnen worden gebruikt voor het verzenden van binaire woorden naar de buitenwereld en men zou bijvoorbeeld D0 tot en met D5 kunnen gebruiken voor het besturen van de CV-interface en D6 voor het genereren van de gatepuls.



Afbeelding 1-14 Aansluitgegevens voor de Schneider CPC464 computer.

De gegevens die op de data-uitgangen van de printerpoort verschijnen kunnen in een register ingelezen worden. Bij de genoemde computer zit dit register op adres &EF00 en de bijbehorende BASIC-instructie is dus:

OUT &EF00, X

Deze instructie zet de binaire code van het decimale getal X (tussen 0 en 255) op de acht datalijnen van de poort. Het enige nadeel van deze methode is dat er op de printerpoort geen +5 volt ter beschikking staat voor het voeden van de interface, maar bij iets uitgebreidere schakelingen zal men toch een beroep moeten doen op een extra voeding en dan valt dit bezwaar weg.

Denk nu niet dat dit systeem bij alle computers bruikbaar is. Er zijn een aantal machines waarbij de printerpoort ook nog voor andere doeleinden wordt gebruikt en waar dus op de meest ongewenste momenten data op de uitgangen verschijnen. Het is nauwelijks mogelijk om zonder gespecialiseerde meetapparatuur vast te stellen of een bepaalde computer die gewoonte heeft. Heeft men de beschikking over een logische meetpen, dan kan men met dit apparaat de acht datalijnen onderzoeken. Als de meetpen door het aansturen van een lampje aangeeft dat er pulsen op een van de lijnen verschijnen, zonder dat er een LPRINT of OUT adres instructie is gegevens, dan weet men dat de onderzochte computer niet geschikt is om data van de printerpoort af te tappen.

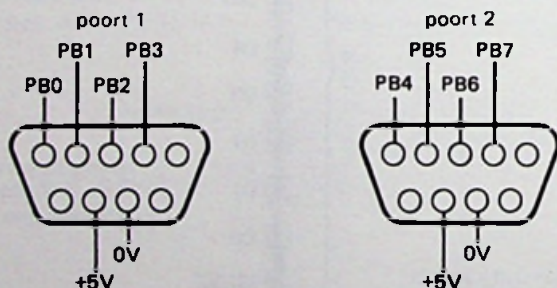
Bij de Atari computers van de reeks 400, 600 en 800 kan men de stuurknuppelpoorten toepassen voor het verzenden van gegevens naar de buitenwereld.

Deze apparaten zijn uitgerust met twee stuurknuppelaansluitingen en zoals uit afbeelding 1-15 blijkt levert elke poort vier datalijnen PB. Weliswaar zijn deze lijnen in feite bedoeld voor het inlezen van de stand van een stuurknuppel, maar men kan deze lijnen als uitgang programmeren door het onderstaande programma uit te voeren.

POKE 54018, 56  
POKE 54016, 255  
POKE 54018, 60

De gegevens die op de nu als uitgang werkende poort aansluitingen in binaire vorm moeten verschijnen, kunnen decimaal ingelezen worden door:

POKE 54016, X



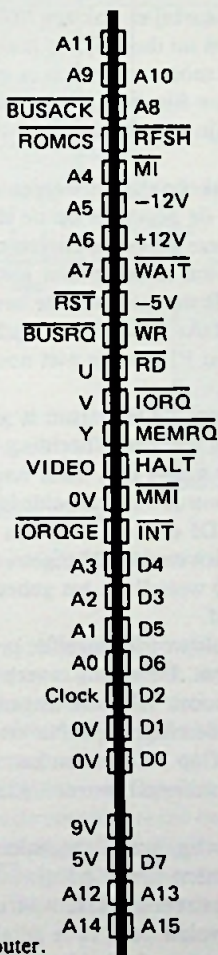
Afbeelding 1-15 De stuurknuppelaansluitingen van de Atari kunnen als poort worden gebruikt.

### Interfacing op de expansiepoort

Sommige computers hebben alleen een algemene expansiepoort, waarmee men toegang heeft tot alle data- en adreslijnen van de machine en bovendien tot een aantal belangrijke processorsignalen.

Een typisch voorbeeld van zo'n computer is de Spectrum. De expansiepoort van deze computer is getekend in afbeelding 1-16.

Hoewel het, zuiver elektronisch gezien, niet zo moeilijk is interfaces te ontwerpen die hun gegevens rechtstreeks van de processorsignalen afleiden, moet deze methode toch worden afgeraden als men niets of weinig van elektronica afweet. De kans is namelijk groot dat men bij een foutieve handeling de computer beschadigt. Het per ongeluk verbinden van een van de signaallijnen met de +5 volt is bijvoorbeeld al voldoende om de processor en/of geheugen -IC's te vernielen.



Afbeelding 1-16 De rechtstreekse bustoegang tot een Spectrum computer.

Maar goed, de Spectrum heeft nu eenmaal geen andere mogelijkheid om randapparatuur aan te sluiten en tenzij men bereid is stad en land af te zoeken naar een gebruiksklare interface en daarvoor een behoorlijk bedrag over de toonbank te schuiven moet men wel een rechtstreekse aanval doen op de tere ingewanden van deze machine.



Op de lijnen D0 tot en met D7 verschijnen alle datagegevens van de computer, dus zowel deze die bedoeld zijn voor alle interne acties als deze die bedoeld zijn voor het aansturen van een extern apparaat. Het komt er nu op aan deze tweede soort gegevens van de eerste te scheiden.

Dit kan aan de hand van de gegevens op de 16 adreslijnen A0 tot en met A15.

Hoewel de spectrum in principe alle adreslijnen gebruikt voor het adresseren van zowel interne geheugenadressen als externe apparaten, staan er slechts een beperkt aantal adressen echt ter beschikking voor het aansturen van externe schakelingen. Deze adressen worden gekarakteriseerd door een laag signaal op adreslijn D5. Nu zijn er natuurlijk tal van situaties denkbaar, waarbij er ook een "0" op deze lijn staat bij de interne bezigheden van het apparaat. Om nu duidelijk te maken aan de processor of er intern dan wel extern gecommuniceerd moet worden, is er een speciale input/output request lijn aanwezig, de  $\overline{\text{IORQ}}$ . Als deze lijn laag is weet de processor dat er gegevens van de buitenwereld te verwachten zijn of gegevens naar de buitenwereld gestuurd moeten worden.

Het komt er dus op aan een schakeling te ontwerpen die vaststelt dat zowel  $\overline{\text{IORQ}}$  als D5 "0" zijn en op dat moment de gegevens op de datalijnen inleest in de interface. Er is echter nog een probleem. Deze gegevens blijven niet op de databus aanwezig, omdat de processor een fractie van een seconde later alweer met iets anders bezig is. Het is dus noodzakelijk de momentele datagegevens te bewaren in een klein acht bit breed geheugentje. Gelukkig heeft de DAC ZN418 zo'n geheugentje standaard ingebouwd. Bij computers die werken met een PIA is dat niet noodzakelijk omdat de PIA zelf de datagegevens bewaart.

Het schema van een interface voor de Spectrum is getekend in afbeelding 1-17.

Het bovenste deel is identiek aan dat van afbeelding 1-9. Het enige verschil is dat de ENABLE-ingang nu niet aan de massa ligt, maar naar de uitgang van een OR-poort gaat. De uitgang van deze poort wordt "0" als beide ingangen "0" zijn. Deze ingangen zijn verbonden met de adreslijn D5 en de  $\overline{\text{IORQ}}$ . Als beide signalen "0" zijn worden de gegevens op de datalijnen D0 tot en met D5 ingelezen in de latch (het geheugen) van de DAC. Even later wordt  $\overline{\text{IORQ}}$  weer "1", het geheugen wordt "gesloten" en de gegevens blijven in het IC bewaard.

Voor het genereren van de gatepuls wordt eenzelfde principe toegepast. IC6 is een flip-flop, een enkel bit geheugenelement. De ingang is verbonden met datalijn D6, de besturing met de uitgang van de OR-poort. Als deze uitgang "0" wordt, zal de momentele waarde op D6 in de flip-flop worden ingelezen. Na het wegvallen van de lage stuurpuls blijft de waarde op D6 in de flip-flop bewaard en kan via uitgang 6 aan de gate-ingang van de voice-schakeling in de synthesizer worden aangeboden.

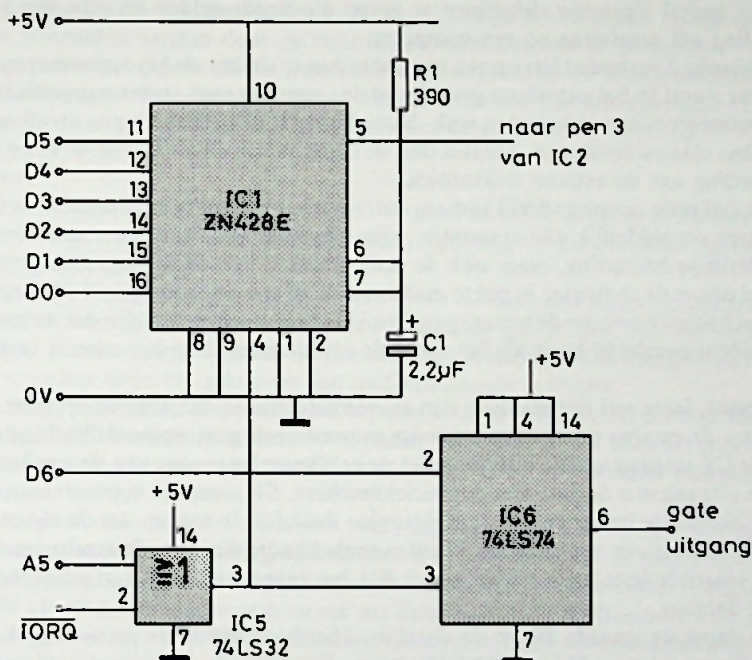
Goed, de hardware is vrij eenvoudig, maar hoe maken wij de computer duidelijk dat er op een door ons gewenst moment zowel A5 als  $\overline{\text{IORQ}}$  laag moeten worden?

De Spectrum heeft een BASIC-instructie OUT, waarmee men de  $\overline{\text{IORQ}}$ -lijn "0" kan maken. Deze instructie wordt gevolgd door twee getallen. Het eerste getal bepaalt de binaire code op de adreslijnen, het tweede de binaire code op de datalijnen. OUT X,Y zet dus X-binair op de A-lijnen en Y-binair op de D-lijnen.

Het komt er dus op neer aan X een waarde toe te kennen waarbij A5 "0" is en aan Y een waarde die de gewenste code op de D-lijnen zet.

Er zijn natuurlijk een heleboel adressen waarbij aan de voorwaarde wordt voldaan. Er is echter slechts één adres, waarbij men er zeker van is dat alleen A5 "0" wordt en

de overige adreslijnen "1" blijven en dat is adres 65503. Door de interface met dit adres aan te sturen is men er zeker van dat geen interne schakelingen in de computer worden aangesproken.



Afbeelding 1-17 Het interfacen van de CV-generator met de Spectrumbus.

De besproken schakeling kan in principe ook worden gebruikt voor het interfacen op de directe bus van een 6502 processor of daarmee vergelijkbare schakelingen zoals de 6809. Het enige verschil is dat de adresdecoder veel uitgebreider moet zijn omdat bij deze processoren het absoluut noodzakelijk is alle 16 adreslijnen te decoderen. Alleen als een bepaalde combinatie van enen en nullen op de 16 lijnen aanwezig is, mag de adresdecoder aanspreken en de ZN428 en de flip-flop sturen. Gelukkig zijn er een aantal met de 6502 processor uitgeruste computers die een aantal reeds intern gedecodeerde uitgangen op de bus ter beschikking stellen. Bij de BBC model B staan bijvoorbeeld op de 1 MHz bus twee gecodeerde adreslijnen ter beschikking, genoemd NPGFC en NPGFD. Deze lijnen gaan naar '0' als er een adres in een bepaald adresbereik wordt aangesproken:

NPGFC - &FC00 tot en met &FCFF

NPGFD - &FD00 tot en met &FDFF

Een van deze lijnen is dus bruikbaar voor het leveren van de controlepuls voor IC1 en IC6 uit afbeelding 1-17.



### **Afregelen van de schakelingen**

Nadat alle voor het systeem noodzakelijke schakelingen zijn gebouwd (men kan zelf printjes ontwerpen of gebruik maken van het universele gaatjesprint zoals "Veroboard") en grondig gecontroleerd kan men het geheel verbinden met de computer. Er zijn een aantal algemene richtlijnen te geven die steeds gelden als men een perifere schakeling wil aansluiten op een computer.

Het is absoluut verboden iets op een computer aan te sluiten als het apparaat nog onder spanning staat! In het gunstigste geval loopt de computer vast, in het ongunstigste gaan enige geïntegreerde schakelingen stuk. Sluit dus eerst alle schakelingen op elkaar aan, controleer alle verbindingen, schakel dan de computer in en als laatste de eventuele eigen voeding van de externe elektronica.

Als het bekende openingsbeeld niet op het scherm van de TV of monitor verschijnt, moet men onmiddellijk alle apparaten weer uitschakelen. Controleer dan niet alleen de onderlinge bedrading, maar ook de zelfgemaakte schakeling nog eens grondig.

Schakel alleen de computer in om te onderzoeken of dat wat is misgegaan het apparaat niet beschadigd heeft. In de meeste gevallen kan men er zeker van zijn dat de computer het incident overleefd heeft als het normale openingsbeeld op het scherm verschijnt.

Maar goed, laten wij optimistisch zijn en veronderstellen dat alles er op wijst dat de computer de externe schakelingen zonder morren heeft geaccepteerd. Verbind dan de analoge CV-uitgang van de interface met de gelijknamige ingang van de synthesizer en de gate-uitgang met de gate van de muziekmachine. Bij sommige apparaten moet men een schakelaartje bedienen om de elektronica duidelijk te maken dat de signalen van elders komen! Sla er voor alle zekerheid even de handleiding van de synthesizer op na. Bij de volgende tests gaan wij ervan uit dat het gatesignaal wordt afgeleid van bit 6 van de databus.

Zet de decimale waarde 89 op de databus. Hierdoor wordt de gateleiding hoog en wordt een waarde van 25 in de DAC ingelezen. Deze waarde wordt omgezet in een analoge spanning die correspondeert met een noot die twee octaven boven de laagste noot van het toetsenbord ligt.

Regel nu de instelpotentiometer P2 (zie afbeelding 1-9) af tot de door het apparaat geproduceerde toon precies even hoog klinkt als de noot die wordt opgewekt bij het indrukken van de bedoelde toets.

Bij synthesizers die werken met een echte gate-ingang en dus met een uitgebreide ADSR-schakeling, zal deze procedure het beste verlopen als men de sustain tamelijk ver open draait. Heeft de synthesizer echter slechts een triggeringang, dan zal de noot niet lang genoeg naklinken om de potentiometer te kunnen afregelen. Men moet dan een klein programma schrijven dat de decimale waarde 89 steeds opnieuw in de interface inleest.

Ter controle kan men nu decimaal 65 op de databus zetten. De gate blijft nog steeds hoog, maar de DAC krijgt nu decimaal 1 aangeboden. De uitgangsspanning op de CV-lijn moet nu de laagste noot van het toetsenbord opwekken. In de meeste gevallen zal het apparaat er behoorlijk naast zitten, maar geen paniek, dank zij de offset-compensatie van de operationele eindversterker kan men deze afwijking compenseren. Verdraai de loper van P1 (zie afbeelding 1-9) tot een en ander klinkt zoals het behoort te klinken.

Er zijn sommige machines op de markt waarbij de laagste noot niet overeen komt met de decimale waarde 1 van onze interface, maar met decimaal 0. Voor de DAC is 0 ech-



er geen acceptabele waarde en bij deze machines zullen wij de offset dus met de op een na laagste noot moeten compenseren.

De beschreven procedures moeten enige malen herhaald worden, omdat het instellen van de versterkingsfactor met P2 de offset van de operationele versterker beïnvloed. Maar na enige keren moet het zonder meer mogelijk zijn het volledige bereik van twee octaven gestemd te krijgen door de twee instelpotentiometers af te regelen.

Zoals reeds eerder opgemerkt zal men in de meeste gevallen de toongeneratoren van de synthesizer over de volle vijf octaven van de interface kunnen aansturen, ook als het apparaat met een slechts twee octaven breed toetsenbord is uitgerust.

## Software

Een bekende kreet is dat elke hardware net zo goed of slecht is als de erbij behorende software. Dit gezegde is zonder meer ook van toepassing op het besturen van een synthesizer met de computer.

De beschreven hardware is, ondanks de eenvoud, in staat zeer nauwkeurige signalen op te wekken voor het besturen van de stemschakeling met ADSR van een monofone synthesizer. Het komt er nu dus op aan de mogelijkheden van deze schakelingen volledig uit te buiten door het schrijven van ondersteunende software.

Alleen uw verbeelding en deskundigheid bepalen of deze software zal bestaan uit enige eenvoudige BASIC-regeltjes of uit een compleet programma met beeldschermdialogoog en grafieken die alle geprogrammeerde tonen en ADSR-instellingen overzichtelijk samenvatten.

In principe kan men complete melodieën voorprogrammeren, hoewel daar wel aan toegevoegd moet worden dat de mogelijkheden ook afhangen van de afmetingen van het vrije RAM-geheugen van de computer. De meeste moderne huiscomputers bieden ongeveer 30 kB programmeergeheugen en als wij daarvan enige kB aftrekken voor opslag van het BASIC-programma blijft voldoende ruimte over voor het bewaren van duizenden noten. Zelfs het beperkte geheugen van een basis ZX81 (1 kB RAM) biedt voldoende ruimte voor het opslaan van een paar dozijn noten.

De standaardprocedure van elk programma is dat na het eventueel instellen van de PIA-registers van de uitgangspoort de gate-uitgang hoog wordt gemaakt en de decimale waarde van de eerste noot naar de poort wordt gestuurd. Als de gate-uitgang is aangesloten op bit 6 van de databus, dan kan men deze decimale waarde berekenen door de decimale waarde van de noot op te tellen bij 64. Deze laatste waarde zet bit 6 immers op "1".

Daarna moet de gatespanning weer naar nul gaan. Als men werkt met een synthesizer met triggeringang of de schakeling van afbeelding 1-11 toepast, kan deze tweede actie onmiddellijk op de eerste volgen. De lengte van de gate-puls wordt dan immers alleen bepaald door de instelling van de pulsbreedte van de monostabiele multivibrator.

Het naar nul resetten van het gatesignaal gebeurt door het op de databus zetten van de decimale waarde van de noot. Of met andere woorden, men moet van de in de eerste POKE gebruikte waarde 64 aftrekken.

Stuurt men de gate-uitgang van de interface rechtstreeks, dus zonder monostabiele multivibrator, naar de gate-ingang van de synthesizer, dan moet men de breedte van de puls softwarematig instellen. Men kan zowel in het begin van het programma een eenmalige standaard breedte opnemen, of een routine inbouwen die het mogelijk maakt de pulsbreedte voor elke noot afzonderlijk in te stellen.

Vervolgens moet een wachtlus worden ingebouwd, die het programma laat wachten totdat de noot is uitgestorven. Het is niet aan te bevelen hiervoor een standaardtijd te programmeren, omdat de muziek dan erg synthetisch klinkt. Beter is het voor elke noot een eigen uitsterftijd te programmeren.

Daarna wordt het programma terug naar het begin gestuurd, zodat de volgende noot, de eventueel instelbare gatetijd en de wachttijd kunnen worden afgewerkt.

Het zal duidelijk zijn dat het in het kader van een voornamelijk aan hardware gewijd boek onmogelijk is voor elke mogelijke computer een uitgewerkt en uitgebreid programma op te nemen. Wij beperken ons tot de bespreking van een kleine routine, geschreven in een soort universeel BASIC, dat zonder problemen op elke computer kan worden toegepast en vrij eenvoudig is uit te breiden.

```
10 READ NV,D
20 IF NV = 0 THEN STOP
30 POKE 37136,(NV + 64)
40 POKE 37136,NV
50 FOR L = 1 TO D:NEXT
60 GOTO 10
70 DATA NV,D,NV,D,NV,D,.....0,0
```

Programma 1-1 Een eenvoudige universele BASIC-routine voor het uitlezen van de CV- en wachtwaarden.

Programma 1-1 geeft de uit slechts zeven eenvoudige BASIC-regels opgebouwde routine. De decimale waarde van de noot wordt ondergebracht in de variabele NV en de uitsterftijd in de variabele D. De verschillende waarden worden opgenomen in dataregels (70), hoewel het in de praktijk natuurlijk handiger zal zijn deze via een INPUT-regel in een array onder te brengen. De DATA-structuur is weliswaar niet erg flexibel, maar zeer bruikbaar voor de allereerste experimenten. In een array ingelezen waarden gaan immers snel verloren (een RUN is daarvoor al voldoende) en als men niet meer dan enige noten in één DATA-regel onderbrengt kan men wijzigingen via EDIT vrij snel in het programma aanbrengen.

Regel 10 leest de eerste waarde van de noot en de wachttijd in de genoemde variabelen in.

Regel 20 is aanwezig om de werking van het programma onafhankelijk te maken van het aantal in DATA opgenomen gegevens. Men moet de DATA-regels afsluiten met een "0,0" waarden, regel 20 detecteert dit en stopt het programma.

Dit systeem is flexibel en de meestal toegepaste FOR NEXT lus voor het inlezen van DATA-gegevens.

In regel 30 wordt de decimale waarde van de noot in het uitgangsregister ingelezen. Deze regel is toegespitst op de VIC-20, voor andere computers moet men het registeradres aanpassen of de volledige regel vervangen door een OUT-instructie.

In regel 40 wordt de gatetijd weer naar nul gereset. De wachttijd wordt gegenereerd door een eenvoudige loze FOR NEXT lus. De juiste waarde van de lusvariabele D moet experimenteel worden bepaald, omdat er snelle en trage BASIC's op de markt zijn en de waarde van D voor één seconde vertraging uiteen kan lopen van 150 (zeer trage BASIC-interpret) tot meer dan 1000.



De meeste computers beschikken over een ingebouwde timer en het is uiteraard veel eleganter om daarvan gebruik te maken. Elke computer gaat echter op zijn eigen zeer individuele manier met deze timer om, zodat daar eigenlijk geen algemene gegevens over te geven zijn.

Regel 60 stuurt de computer terug naar de eerste regel, de nieuwe waarde van de noot en de wachttijd worden ingelezen.

### **Besturing van polyfone synthesizers**

Tot nu toe zijn wij ervan uitgegaan dat de computer moet samenwerken met een monofone synthesizer: een apparaat met slechts één toongenerator en één ADSR. De meeste synthesizers zijn echter polyfoon hetgeen betekent dat zij zijn uitgerust met meerdere identieke toongeneratoren met elk hun eigen ADSR-schakeling.

Deze apparaten hebben dus net zoveel CV- en gate-ingangen als er stemschakelingen aanwezig zijn.

In principe zou men polyfone instrumenten kunnen besturen door een aantal interface-schakelingen te bouwen en elke schakeling aan te sluiten op één CV- en één gate-ingang. Dit is echter aan de kant van de computer tamelijk moeilijk te realiseren. De computer heeft immers maar acht datalijnen ter beschikking en elke interface heeft zeven data-ingangen nodig. Met enige moeite zou het mogelijk zijn drie stemmen te sturen via de printerpoort, de stuurknuppelaansluiting en de algemene processorbus. Erg elegant is deze oplossing niet. Een tweede nadeel is dat het geheel een kostbare grap wordt, omdat men voor elke stem een DAC nodig heeft en dat is een vrij prijzig IC.

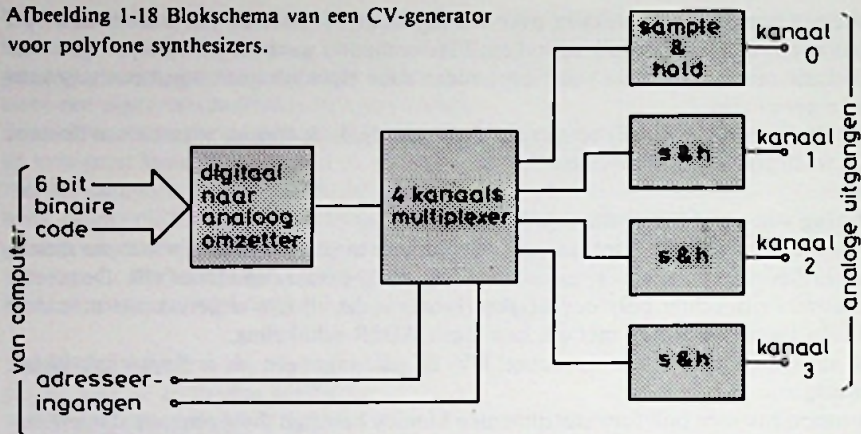
De standaard oplossing voor dit probleem is dat men gebruik maakt van slechts één DAC en de uitgang van deze schakeling via een analoge multiplexer aanbiedt aan een aantal zogenaamde sample and hold schakelingen. Zo'n schakeling is in staat de momentele waarde van een analoge spanning gedurende een bepaalde tijd in een condensator op te slaan.

Het blokschema van een vierkanaals interface is getekend in afbeelding 1-18. De DAC wordt, zoals gebruikelijk, gestuurd uit zes datasignalen. De analoge multiplexer kan men vergelijken met een vierstanden schakelaar. De ingang wordt met een van de vier uitgangen doorverbonden. Welke uitgang dit voorrecht geniet wordt bepaald door een digitale code, de adresseercode die op twee stuuringen van de multiplexer wordt aangeboden. uiteraard worden deze twee signalen geleverd door de computer, zodat het programmatisch mogelijk is op elk moment te bepalen welke uitgang met de DAC wordt verbonden. De elektronische schakelaar kan slechts één uitgang aan de DAC koppelen. Op dat moment zijn de drie overige uitgangen van de DAC losgekoppeld. Om nu te vermijden dat de CV-spanningen van deze uitgangen plotseling naar nul gaan zijn de sample and hold schakelingen nodig, die de grootte van de CV-spanningen van de drie "losse" kanalen bewaart tot deze uitgangen weer via de multiplexer met de DAC worden verbonden.

De bedoeling is nu het systeem softwarematig als volgt te besturen. Op een bepaald moment verschijnt op de adresseerlijnen de binaire code, die kanaal 0 met de uitgang van de DAC doorverbindt. Op deze data-uitgangen die de DAC sturen moet men nu de nootwaarde van kanaal 0 uitlezen. Deze code wordt door de DAC in een analoge spanning omgezet, die via de multiplexer de sample and hold van kanaal 0 "oplaadt". Even later zet men op de adresseerlijnen de code die kanaal 1 met de DAC verbindt. Men zet nu de nootwaarde voor kanaal 1 op de databus en de analoge spanning die



Afbeelding 1-18 Blokschema van een CV-generator voor polyfone synthesizers.



daarvan het gevolg is gaat via de sample and hold van kanaal 1 naar de uitgang. Onder- tussen is kanaal 0 losgekoppeld van de DAC, maar de net ingelezen spanning staat nog steeds over de geheugencondensator van de S&H en de uitgang van kanaal 0 levert dus nog steeds dezelfde spanning aan de CV die op dat kanaal is aangesloten.

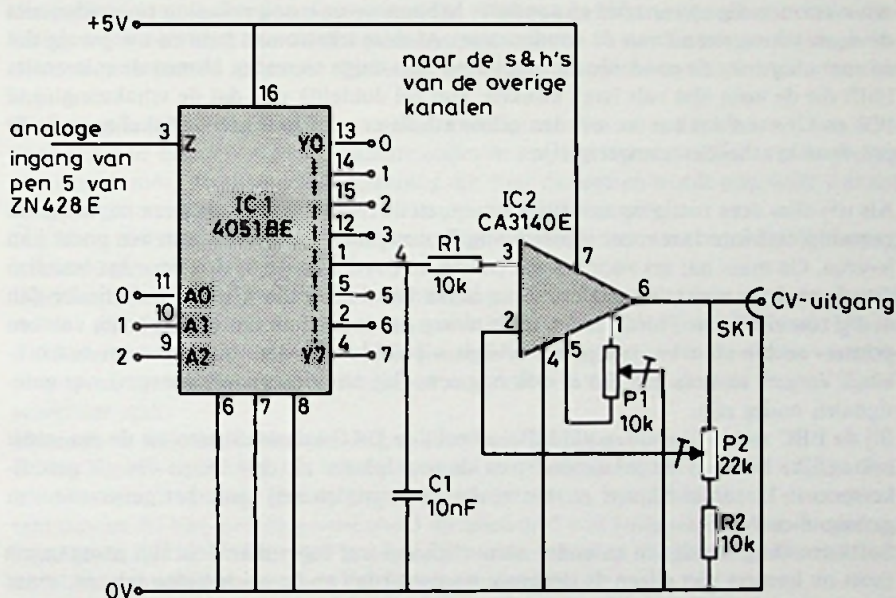
Op deze manier wordt uitgang na uitgang voorzien van de gewenste analoge spanning en als men dit proces maar snel genoeg herhaalt worden alle sample and hold's genoeg "ververst" om het weglekken van de in de condensatoren opgeslagen spanningen te voorkomen.

Afbeelding 1-19 geeft de praktische vertaling van het blokschema van de vorige figuur. Of althans, van een deel van het blokschema. Zo zal men tevergeefs zoeken naar de DAC en dat heeft als zeer eenvoudige reden dat deze schakeling identiek is aan de schakeling in afbeelding 1-9. De uitgang van de DAC (pen 5 van het IC) gaat nu echter niet naar de bufferversterker, maar naar de analoge ingang pen 3 van de achtkanaals analoge multiplexer IC1 van het type CD4051BE. Dit IC heeft een aantal sturingan- gen, waarvan alleen de pennen 9, 10 en 11 belangrijk zijn. De digitale code die op deze drie ingangen wordt aangeboden bepaalt met welke uitgang de gemeenschappelijke in- gang wordt doorverbonden. Uit de waarheidstabel van tabel 1-2 kan men afleiden dat

INPUTS				CHANNELS							
$\bar{E}$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$Y_0-Z$	$Y_1-Z$	$Y_2-Z$	$Y_3-Z$	$Y_4-Z$	$Y_5-Z$	$Y_6-Z$	$Y_7-Z$
L	L	L	L	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
L	L	L	H	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
L	L	H	L	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
L	L	H	H	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
L	H	L	L	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
L	H	L	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
L	H	H	L	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
L	H	H	H	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
H	X	X	X	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabel 1-2 De waarheidstabel van de CD4051BE analoge multiplexer.

het IC de normale binaire code volgt: alle drie de sturingangen 0 (L) activeert uitgang Y0. In principe kan men dus acht kanalen op de elektronische schakelaar aansluiten. Bij het besturen van synthesizers zal men echter nooit zoveel kanalen nodig hebben en vandaar dat men het systeem kan inkrampen tot vier kanalen door de sturingang A2 met de massa te verbinden. De digitale code op de twee overige ingangen A0 en A1 activeert dan de uitgangen Y0 tot en met Y3. De sample and hold schakeling bestaat in feite uit niets meer dan de tussen de uitgang van de multiplexer en de massa geschakelde condensator C1. Als de schakelaar gesloten is zal de condensator snel opladen



Afbeelding 1-19 Het praktische schema van een meerkanaals CV- generator.

## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 1-19

Weerstanden, 1/4 W.

R1 10 k $\Omega$

R2 10 k $\Omega$

Instelpotentiometers:

P1 10 k $\Omega$

P2 22 k $\Omega$

Condensatoren:

C1 10 nF, MKH

Geïntegreerde schakelingen:

IC1 CD 4051 BE

IC2 CA 3140 E

Diversen:

1 x 8-pens IC-voetje

1 x 16-pens IC-voetje

1 x standaard steker

1 x standaard chassisdeel



tot de uitgangsspanning van de DAC. Zet men nu de multiplexer in een andere stand, dan kan de spanning over de condensator in theorie niet meer afvloeien naar de massa. De spanning blijft dus over de condensator staan en wordt via de versterkende en offset-gecompenseerde buffer aan de CV-uitgang aangeboden. In theorie, omdat er in de praktijk toch wel enkele wegen zijn, waarlangs de spanning over de condensator kan afvloeien. De ingang van de operationele versterker is weliswaar zeer hoogohmig, maar zelfs deze in het Giga-ohm bereik ( $= 1.000.000.000 \text{ Ohm}$ ) liggende weerstand veroorzaakt toch een ontladstroom door de condensator, waardoor de spanning langzaam maar zeker weglekt naar massa. Ook de geopende schakelaar in de multiplexer heeft een niet oneindige weerstand en tenslotte hebben we ook nog rekening te houden met de eigen lekweerstand van de condensator. Al deze lekstromen hebben tot gevolg dat de spanning over de condensator niet langer dan enige seconden binnen de toleranties blijft die de noot niet vals laten klinken. Het zal duidelijk zijn dat de schakeling rond IC2 en C1 even vaak moet worden gebouwd als er stuurbare stenschakelingen in de polyfone synthesizer aanwezig zijn.

Als wij alles eens rustig op een rijtje zetten, stellen wij vast dat ook deze zogenoemde gemultiplexte interface meer signalen van de computer nodig heeft dan één poort kan leveren. Ga maar na: zes voor het sturen van de DAC en twee of drie voor het instellen van de analoge multiplexer. Het zijn er in elk geval een behoorlijk aantal minder dan nodig zou zijn als wij niet zouden multiplexen en door gecombineerd gebruik van een printer- en een stuurknuppelpoort hebben wij voldoende data-uitgangen ter beschikking. Vergeet immers niet dat er ook nog eens (bij een vierkanaals systeem) vier gatesignalen nodig zijn.

Bij de BBC model B zouden wij bijvoorbeeld de DAC kunnen sturen uit de zes minst belangrijke bits van de printerpoort en de multiplexer uit drie lijnen van de gebruikerspoort. In totaal blijven er dan zeven datasignalen vrij voor het genereren van gatesignalen.

Softwarematig wordt een en ander natuurlijk wel wat ingewikkelder. Het programma moet nu immers niet alleen de decimale nootwaarden en de wachttijden inlezen, maar moet deze gegevens afwisselend naar de ene of de andere poort sturen. Daarnaast moet de computer ook nog eens opgedragen worden de gatesignalen hoog te maken en deze kunnen zowel met de ene als met de andere poort verbonden zijn.

Het zal dan ook duidelijk zijn dat wordt aangeraden de lengte van de gatesignalen niet meer softwarematig in te stellen, maar gebruik te maken van de eerder beschreven monostabiele multivibrator. Dat vereenvoudigt het schrijven van het programma ten zeerste.

Bij het schrijven van programma's in machinecode mag men een belangrijke eigenschap van de sample and hold schakeling niet uit het oog verliezen. Bij het sluiten van de multiplexerschakelaar wordt de condensator van de S&H via de schakelaar verbonden met de uitgang van de DAC. Nu heeft dit IC een bepaalde uitgangsimpedantie en het duurt dus even alvorens de condensator tot de topwaarde van de DAC-uitgang is opgeladen. Men moet de schakelaar dus zolang gesloten houden tot de condensator volledig is opgeladen. Deze tijd is afhankelijk van de gebruikte waarde van de S&H condensator. Bij gebruik van 10 nano Farad moet men rekening houden met een oplaadtijd van minstens 100 microseconden, zodat het zonder meer noodzakelijk is een wachtlus in het programma in te bouwen. Men zou dit kunnen omzeilen door de waarde van de condensator te verlagen tot bijvoorbeeld 220 pico Farad. Maar de spanning



over de condensator blijft dan slechts een fractie van een seconde bruikbaar, waardoor de software zo ontworpen moet worden dat de volledige cyclus van het inlezen van alle kanaalspanningen minstens 10 keer per seconde wordt doorlopen.

BASIC-programmeurs hebben geen last van al deze problemen, omdat de BASIC-interpret in de computer die de BASIC-instructies omzet in processortaal zo traag werkt dat de condensatoren rustig tot het laatste millivoltje kunnen opladen.

### **Het in de computer inlezen van het klavier**

Ervaren synthesizerbespelers moeten even wennen aan het programmeren van melodieën via het toetsenbord van een computer. Wat zou het ideaal zijn als men een schakeling ter beschikking had die de op het toetsenbord van de synthesizer gespeelde melodie zou omzetten in gegevens die in het geheugen van de computer konden worden ingelezen.

Welnu, zo'n schakeling is vrij eenvoudig te realiseren. Tot nu toe hebben wij ons druk gemaakt over het omzetten van binaire codes in analoge signalen. Bij het uitlezen van een klavier moet de analoge CV-spanning die door de toetsen wordt opgewekt worden omgezet in een digitale code waar de computer raad mee weet.

Het komt er dus op neer een analoog naar digitaal omvormer, kortweg ADC genoemd, te ontwerpen.

Uiteraard heeft men ook dat soort schakelingen geïntegreerd en uit het grote aantal ADC's dat op de markt is hebben wij gekozen voor de ZN449 van Ferranti. Dit IC is relatief goedkoop en hoewel de nauwkeurigheid niet zo best is voldoet deze voor onze toepassing, omdat wij gebruik maken van slechts 6 van de acht bits die het IC beschikbaar stelt.

Het schema van de klavierlezer is getekend in afbeelding 1-20.

De analoge CV-spanning van het toetsenbord wordt via een weertandsverzwakker aangeboden aan de analoge ingang (pen 6) van de omzetter. Door middel van de instelpotentimeter P2 kan men de gevoeligheid instellen op 5 volt volle schaal. Aan de analoge ingang van het IC wordt, via P1, nog een tweede spanning aangeboden. Dit zou men de offsetcompensatie van de ADC kunnen noemen.

Elke ADC werkt met een hoge klokfrequentie. De ZN449 heeft een ingebouwde klok-schakeling, waarvan de frequentie wordt bepaald door de waarde van C1. Met de gekozen waarde werkt het IC met een klokfrequentie van ongeveer 1 MHz. Het omzetten van een analoge spanning in een binaire code is een vrij ingewikkeld proces dat enige tijd in beslag neemt. Bij de ZN449 kan men stellen dat één volledige cyclus ongeveer negen klokpulsen in beslag neemt, hetgeen met de gekozen frequentie overeen komt met een tijd van 10 microseconden.

Bij het schrijven van programma's in machinecode moet men met dit gegeven terdege rekening houden en een wachtlus inbouwen, die de schakeling minstens 10 microseconden tijd geeft om de code op de uitgangen aan te passen aan de nieuwe waarde van de analoge CV-spanning van het klavier.

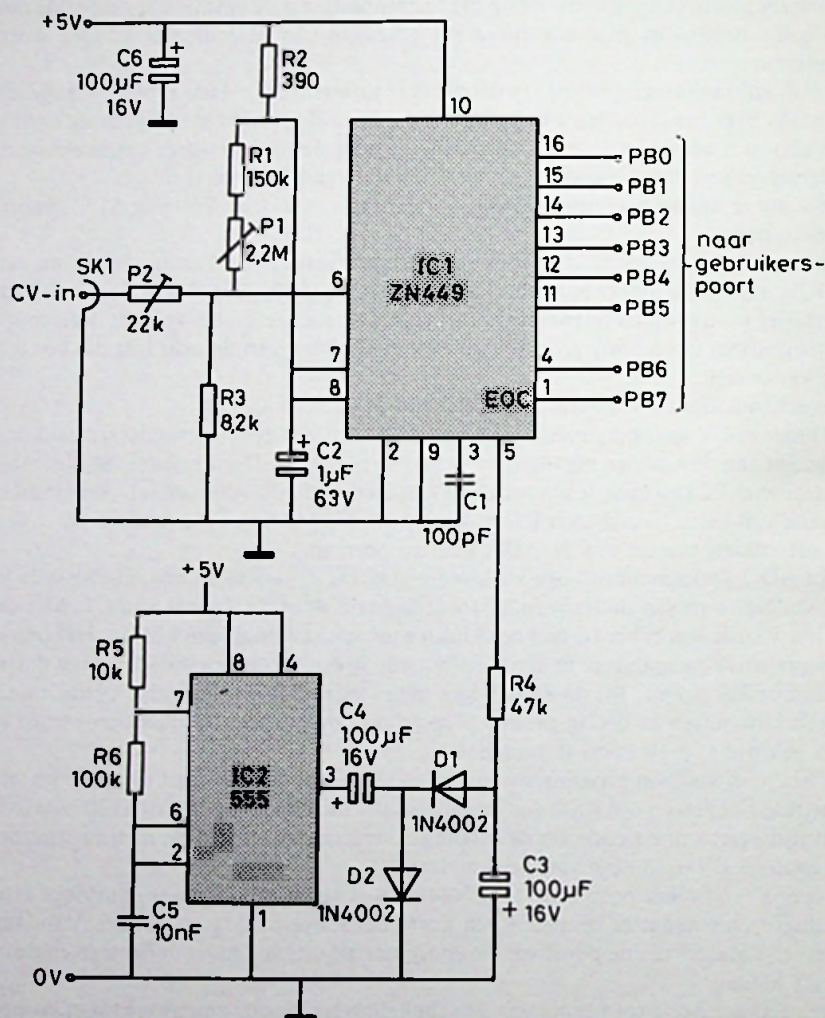
Er is nog een tweede probleem. De ZN449 is niet zelfstartend, maar doorloopt een omzettingscyclus nadat er op pen 4 een korte negatieve puls is aangelegd. Vandaar dat men een datalijn van de poort van de computer als uitgang moet definiëren en de overige als ingang.

Een en ander heeft tot gevolg dat de schakeling het beste samenwerkt met computers die over een ingebouwde PIA beschikken. Dank zij het data direction register kan men immers elke lijn van de poort afzonderlijk als in- of uitgang definiëren. In de schake-

ling wordt lijn PB-6 als uitgang geschakeld en deze lijn moet softwarematig de korte negatieve puls leveren die de omzetter start.

De poortlijnen PB-0 tot en met PB-5 worden als ingang gedefinieerd en nemen de digitale code op de zes hoogste bits van de ADC over. Deze zes bit resolutie is voldoende om een bereik van vijf octaven te behandelen, meer dan zelfs het meest uitgebreide klavier levert.

Zoals reeds gezegd neemt een analoog naar digitaal omzetting een bepaalde tijd in beslag. Naast het inbouwen van een vertragslus zou men ook gebruik kunnen maken van de EOC-uitgang op pen 1 van de ADC. EOC staat voor "end of conversion",



Afbeelding 1-20 Een klavierlezer leest de CV-uitgang van een toetsenbord in en zet deze om in een binaire code.



einde van de omzetting, en op deze uitgang staat een lage spanning als het IC bezig is met de ingangsspanning om te zetten in een binaire code en een hoge spanning als het IC in rust is. Men zou deze uitgang kunnen verbinden met de als ingang gedefinieerde PB-7 en de spanning op deze lijn door middel van een routine kunnen gebruiken om de computer te laten wachten tot de schakeling klaar is met een omzetting. De ADC heeft een spanningsreferentie nodig. Deze is in het IC ingebouwd, maar moet via C2 en R2 ontkoppeld worden. De ZN449 heeft een negatieve voedingsspanning nodig en deze wordt op de reeds bekende manier opgewekt uit de + 5 volt. IC2 is geschakeld als astabiele multivibrator (vergelijk met afbeelding 1-10) en de blokvormige spanning op de uitgang wordt via een condensator/diode netwerk gelijkgericht en afgevlakt tot een negatieve gelijkspanning van ongeveer -3,5 volt. Deze wordt via weerstand R4 aan de negatieve voedingsaansluiting van de ADC aangeboden.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 1-20

Weerstanden, 1/4 W:	C4 100 $\mu$ F, 16 V
R1 150 k $\Omega$	C5 10 nF, MKH
R2 390 $\Omega$	C6 100 $\mu$ F, 16 V
R3 8,2 k $\Omega$	Halfgeleiders:
R4 47 k $\Omega$	D1 1 N 4002
R5 10 k $\Omega$	D2 1 N 4002
R6 100 k $\Omega$	Geïntegreerde schakelingen:
Instelpotentiometers:	IC1 ZN 449
P1 2,2 M $\Omega$	IC2 555
P2 22 k $\Omega$	Diversen:
Condensatoren:	1 x 8-pens IC-voetje
C1 100 pF, keramisch	1 x 18-pens IC-voetje
C2 1 $\mu$ F, 63 V	1 x standaard steker
C3 100 $\mu$ F, 16 V	1 x standaard chassisdeel

De schakeling van de klavierlezer kan door middel van een eenvoudig BASIC-programma getest worden. De routine van programma 1-2 is geschreven voor de BBC model B, maar kan zonder problemen aangepast worden voor alle overige met PIA uitgeruste computers.

```

10 ?&FE62 = 64
20 ?&FE60 = 64
30 ?&FE62 = 0
40 ?&FE60 = 64
50 PRINT (?&FE60-192)
60 GOTO 30

```

Programma 1-2 Programma voor het inlezen van de waarden van de klavierlezer in een BBC model B computer.



In regel 10 wordt PB-6 als uitgang gedefinieerd en de overige poortlijnen als ingang. In regel 20 wordt de spanning op PB-6 hoog gemaakt, waarna er een korte negatieve puls op deze lijn wordt gezet (regels 30 en 40) voor het starten van een omzettingscyclus van de ADC. Vanwege de traagheid van BASIC is het niet noodzakelijk een wachtlus in te bouwen. Wij kunnen dus onmiddellijk de digitale code op de uitgangen van de analoog naar digitaal omzetter inlezen, hetgeen gebeurt in regel 50. Op dat moment is de spanning op PB-6 echter hoog (regel 40!) en de niet verbonden lijn PB-7 is ook hoog. Dat laatste is een eigenschap van de meeste computers. Niet aangesloten ingangen stellen zichzelf in op een hoog niveau. De waarde van deze twee lijnen wordt in de meting betrokken en vandaar dat het nodig is de waarde 192 van het resultaat af te trekken. Een hoog signaal op PB-6 en PB-7 komt immers decimaal overeen met 64 en 128. Het resultaat wordt op het scherm afgedrukt en met regel 60 wordt een volgende cyclus gestart.

Verbindt de ingang van de schakeling met de CV-uitgang van het klavier. Zet beide instelpotentiometers in de middenstand en druk de hoogste toets van het klavier in. Regel P2 af tot de uitlezing op het scherm gelijk is aan het aantal toetsen van het klavier. Druk nu de laagste toets in. De waarde op het scherm moet nu 1 zijn en dit kan men afregelen met P1. Herhaal de procedure enige malen tot beide getallen kloppen.

### Sequencer ideeën

Met de beschreven schakeling is het zonder meer mogelijk een sequencerprogramma samen te stellen. Met zo'n programma kan men een op het toetsenbord van de synthesizer gespeelde melodie opslaan in het geheugen van de computer en later weer afspelen.

Er bestaan verschillende benaderingen voor zo'n "digitale recorder" en laat ons maar eens beginnen met de allereenvoudigste.

Bij dit systeem leest de computer het klavier van de synthesizer uit, telkens als er op een toets wordt gedrukt. Het enige probleem daarbij is te detecteren wanneer zo'n actie plaats vindt. Dit is vrij eenvoudig, omdat het klavier een gatepuls levert, telkens als men een toets indrukt en het verschijnen van deze puls vrij gemakkelijk te detecteren is. Men zou bijvoorbeeld de vrij poortlijn PB-7 met de gateuitgang van het klavier kunnen verbinden en deze lijn als ingang definiëren. Daarna schrijft men een routine die de toestand van de poort continu in de gaten houdt en op het moment dat PB-7 hoog wordt een subroutine inschakelt. In deze subroutine wordt de status van de overige lijnen ingelezen en deze waarde wordt ergens in het vrije RAM-geheugen opgeslagen. Men zou bijvoorbeeld met behulp van een FOR NEXT lus opeenvolgende adressen kunnen POKE-en. Bij het weergeven van de opgeslagen melodie kan men met een bepaalde tijdsinterval de opgeslagen gegevens weer uit dezelfde adressen uitlezen met PEEK en deze waarden via de DAC-schakeling aan de CV-ingang van de synthesizer aanbieden. Het nadeel van dit systeem ligt voor de hand: er wordt geen rekening gehouden met de tijdsduur van de verschillende noten. Bij het naspelen van de melodie klinkt elke noot even lang.

In principe is het mogelijk het toetsenbord met zeer kleine tijdsintervallen in te lezen en telkens de gelezen waarden in het geheugen op te slaan. Bij het terugspelen van de opgeslagen melodie krijgt elke noot de overeenkomende duur, maar het nadeel van dit systeem is dat er veel geheugen verloren gaat, omdat lang aanhoudende noten misschien wel in tientallen adressen worden opgeslagen. En dat zijn adressen waarin precies dezelfde gegevens staan.

Om u een idee te geven van de grenzen van dit systeem zij vermeld dat er niet meer dan ongeveer 5 minuten geluid in 30 kB RAM opgeslagen kan worden.

De laatste oplossing is zonder meer het fraaist, maar vraagt nogal wat van de programmeercapaciteit van de gebruiker. Bij dit systeem houdt de computer de ingangspoort voortdurend in de gaten en zal alleen nieuwe gegevens inlezen op het moment dat er iets verandert in de binaire code op de poort. Dat is immers een indicatie dat er een toets wordt losgelaten of een nieuwe toets wordt ingedrukt.

Op hetzelfde moment echter wordt de inhoud van de in elke computer aanwezige interne klok in de gaten gehouden. Deze klok is meestal ondergebracht op drie adressen van het geheugen en de inhoud kan met enige PEEK's en enige eenvoudige berekeningen worden omgezet in een verwerkbare tijdschaal. Men zou bijvoorbeeld de schaal kunnen omrekenen in tienden van een seconde. Als de computer nu een wijziging op de poort registreert, wordt eerst de inhoud van de timer ingelezen in een aantal adressen en daarna de nieuwe waarde van de poort. Elke noot wordt dus in twee groepen adressen ondergebracht. De eerste groep geeft informatie over de toonhoogte, de tweede informatie over de duur van de noot. In de meeste gevallen heeft men bij dit systeem slechts 4 bytes per toon nodig, zodat het mogelijk is gehele composities, die tientallen minuten duren, in het geheugen op te bergen en later terug af te spelen. Bij het uitlezen van de informatie moet de computer eerst de tijdinformatie van de noot uit het geheugen halen, dan de waarde van de noot zelf en beide gegevens verwerken tot signalen die naar de uitgangspoort gestuurd kunnen worden. Zoals reeds gezegd is dit systeem een ware uitdaging voor de gevorderde programmeur. In principe is het mogelijk BASIC toe te passen, omdat de tijdinformatie uit het geheugen gehaald kan worden met enige PEEK's.

### **Interfacing van de toetsenbordlezer**

Het zal duidelijk zijn dat het niet noodzakelijk is zowel de toetsenbordlezer als de CV-generator gelijktijdig op de computer aan te sluiten. In principe is dat natuurlijk mogelijk, maar men moet dan wel de beschikking hebben over een heleboel in- en uitgangspoorten.

Het nadeel van het afwisselend aansluiten van de inlees en de uitlees interface is dat er heel wat omgeschakeld moet worden en telkens een heleboel nieuwe stekers in evenzovele poorten gestoken moet worden.

Het verbinden van de klavierlezer met de computer is niet moeilijk en in principe kan men dezelfde schakeling toepassen als beschreven bij het aansluiten van de CV-generator. De schakeling moet alleen gegevens aanbieden op het moment dat de computer de poort inleest en voor de rest van de tijd moeten de datalijnen zich in tristate, dus in een hoge impedantie modus, bevinden. Het is echter niet noodzakelijk een afzonderlijke tristatebuffer toe te passen. ICI heeft namelijk tristate uitgangen.

De uitgangen van de ADC zijn inactief (tristate) als er op pen 2 van het IC een hoog signaal staat en worden geactiveerd door een laag signaal op dezelfde ingang.

Men kan dus de data-ingangen van het IC rechtstreeks verbinden met de buslijnen PB-0 tot en met PB-5 en de adresdecoder aansluiten op pen 2 van het IC.

Stel bijvoorbeeld dat wij de schakeling willen aansluiten op een BBC model B computer.

Men kan dan de NPGFC-uitgang van de machine gebruiken voor het genereren van de puls die pen 2 van het IC stuurt. De omzetter kan dan worden ingelezen in een wille-



keurig adres in het bereik van &FC00 tot en met &FCFF. Het is natuurlijk noodzakelijk ergens een puls vandaan te halen, die het IC opdraagt met een cyclus te beginnen. Zoals bekend moet deze puls op pin 4 van de ADC worden aangesloten en men zou deze kunnen afleiden uit de NPGFD-uitgang van de computerpoort. Het volstaat dan een willekeurige waarde in te lezen in het adresgebied tussen &FD00 en &FDFF.

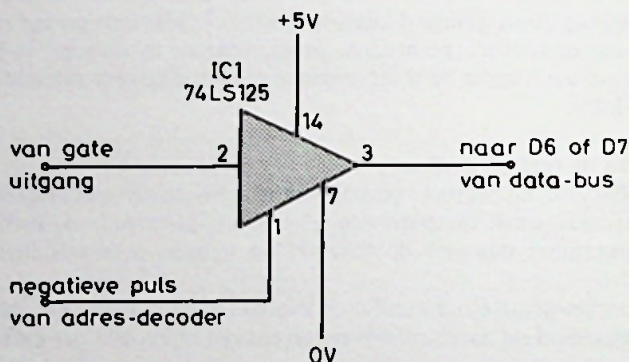
Bij het ontwerpen van de adresdecoder doet men er verstandig aan rekening te houden met de schrijf/leesselectie, die elke microprocessor zelf levert.

De 6502 heeft een gemeenschappelijke zogenoemde read/writelijn, die laag wordt gedurende schrijfoperaties en hoog als de processor gegevens leest.

De Z80 heeft afzonderlijke schrijf- en leeslijnen en deze worden laag als de betreffende functie van toepassing is.

Bij het interfacen van de klavierlezer met de poort van de computer doet zich het probleem voor dat men ook de gate-uitgang van het klavier moet inlezen. In de meeste gevallen is deze uitgang TTL-compatible, maar men zal gebruik moeten maken van een tristate poort om deze uitgang aan de poort aan te bieden.

Afbeelding 1-21 geeft het schema van een zeer eenvoudige tristate buffer, die gestuurd wordt uit de uitgang van de adresdecoder en die men kan opnemen tussen de TTL-compatible gate-uitgang van het klavier en een datalijn van de computerpoort.



Afbeelding 1-21 Het omzetten van de gate-uitgang van een klavier in een tristate signaal.



# Het nabootsen van percussie-effecten

### Inleiding

Tegenwoordig zijn er heel mooie, maar ook heel dure elektronische percussiesynthesizers in de handel, die volledig digitaal werken.

Daarmee bedoelen wij niet alleen dat de ritmes en verschillende instrumentcodes digitaal worden gegenereerd, maar dat ook de samenstelling van de geluiden in digitale codes is vastgelegd. Het principe is vrij eenvoudig. Men neemt geluiden van "echte" instrumenten op band op, zet deze daarna met zeer goede analoog naar digitaal omvormers om in een grote hoeveelheid digitale codes, "bakt" deze codes in in geheugen-IC's van het ROM- of EPROM-type en zet deze eenmalig geladen geheugens in de machine. Het volstaat nu deze chips weer uit te lezen, de digitale codes met een goede digitaal naar analoog omzetter weer in analoog signaal om te zetten en men heeft zeer natuurgetrouwe geluiden.

Het enige nadeel is dat deze machines zeer duur zijn en hoewel het in de lijn der verwachtingen ligt dat deze prijzen zullen kelderen, hebben wij daar op dit moment nog niet veel aan.

Hoewel het in principe mogelijk is het beschreven ideale systeem van de "digitale geluidsrecorder" ook op huiscomputers toe te passen, valt dit buiten het kader van dit boek.

Wie met deze techniek wil experimenteren kan beter gebruik maken van de kant en klare software, die op dit moment voor verschillende soorten computers met grote geheugenreserve wordt aangeboden.

Wat wél in dit hoofdstuk aan de orde komt zijn enige eenvoudige analoge schakelingen, die elk op zich een bepaald instrument redelijk nauwkeurig nabootsen en die gestuurd kunnen worden uit elke computer, hoe groot of klein het geheugen ook is. Het is zonder meer mogelijk een aantal van deze schakelingen gemeenschappelijk uit de computer te sturen, omdat de meeste systemen slechts één triggeringang nodig hebben. Op het einde van dit hoofdstuk wordt bovendien een eenvoudige menger beschreven, waarop men de analoge uitgangen van de diverse schakelingen kan aansluiten, zodat er één gemeenschappelijke analoge geluidsuitgang ter beschikking staat.

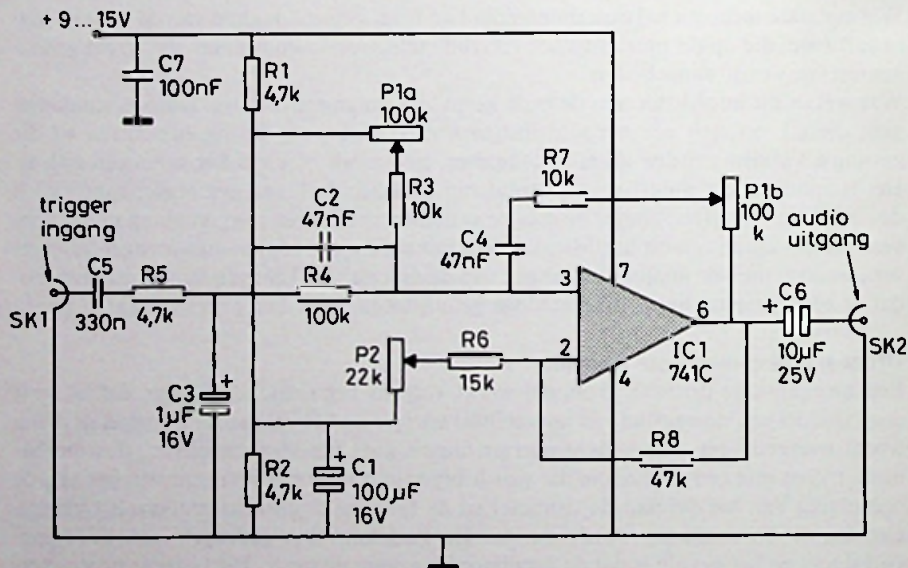
### Drum-synthese met vaste instelling

Een mechanische drum of trommel werkt volgens het fysische principe dat er eerst door middel van de aanslag een hoeveelheid energie op het vel van de trommel of drum wordt overgedragen. Door deze energie-impuls gaat het vlies oscilleren, dus mechanisch trillen met een frequentie die wordt bepaald door de afmetingen van het vel, de ophanging van het vel aan de trommel en de fysische eigenschappen van het geheel. Gedurende de oscillatie wordt de energie langzaam overgedragen aan de omgevingslucht en het gevolg is dat de oscillator langzaam uitsterft. Dit fysische proces veroorzaakt het typische drumgeluid.

Elektronisch bestaat er een schakeling die zich fysisch net zo gedraagt als een trommel. Er bestaan namelijk zogenaemde oscillatoren, die een periodiek wisselspanningssignaal opwekken als er aan een bepaalde terugkoppelvoorwaarde voldaan is. Is deze terugkoppeling echter te klein, dan zal de schakeling uit zichzelf niet gaan oscilleren. Stelt men de mate van terugkoppeling zo in, dat de schakeling net niet oscilleert, dan zal elke plotse spanning, die van buiten af aan de schakeling wordt aangeboden, de generator toch even aan het oscilleren brengen. Omdat de terugkoppeling te gering is zal dit effect echter langzaam uitsterven en tenslotte is de schakeling weer volledig in rust.

Het resultaat is dus vergelijkbaar met het aanslaan van een trommel en vandaar dat men vrij natuurgetrouwe drumgeluiden aan een gedempte oscillator kan ontlokken. Het voordeel is bovendien dat oscillatoren zeer eenvoudig zijn te realiseren, een actief element zoals een transistor of een operationele versterker en enige weerstanden en condensatoren volstaan.

Het schema van afbeelding 2-1 is bijvoorbeeld een oscillator van het type Wienbrug. Bij deze oscillatoren wordt er gebruik gemaakt van twee soorten terugkoppeling van de uitgang naar de ingang. De eerste is frequentie-afhankelijk en zal een bepaalde frequentie met een minimale verzwakking en een fasedraaiing van precies 0 graden terugkoppelen naar de positieve ingang van de versterker. Het gevolg van deze fasedraaiing van nul is dat een signaal met deze bepaalde frequentie de schakeling steeds blijft doorlopen. De verzwakking van -10 dB zorgt er echter voor dat het signaal op de uitgang steeds kleiner wordt, zodat de oscillatie uitsterft. Vandaar dat er een tweede terugkoppeling noodzakelijk is, die er voor zorgt dat de verzwakking van -10 dB wordt gecompenseerd. Deze terugkoppeling stelt de versterking van de schakeling in op precies +10 dB (ongeveer 3 maal). Als aan deze voorwaarde is voldaan, dan zal de schakeling gaan oscilleren en zal er op de uitgang een mooie sinus verschijnen met een frequentie die



Afbelding 2-1 Een gedempte sinusoscillator als drumnabootser.



bepaald wordt door de eigenschappen van de eerste terugkoppeling. Het zal duidelijk zijn dat wij voor onze toepassing geen continue sinus nodig hebben. Het volstaat de versterking van de schakeling iets kleiner te maken dan +10 dB om de eenmaal door een externe puls op gang gezette oscillatie langzaam maar zeker te laten uitsterven. De uitsterftijd is afhankelijk van de instelling van de versterking. Zit deze erg dicht tegen de +10 dB, dan zal het geluid lang naklinken maar bestaat het risico dat door onvoorziene variaties van de onderdelen, bijvoorbeeld door temperatuurschommelingen, de versterking gelijk wordt aan +10 dB (of zelfs iets groter), waardoor de schakeling op hol slaat en het geluid niet meer uitsterft. Men moet de versterking dus niet te dicht bij de kritische waarde instellen.

De eerste terugkoppeling, die de frequentie bepaalt, is samengesteld uit twee takken. Een tak gaat van de uitgang naar de positieve ingang van de operationele versterker en is opgebouwd rond de onderdelen C4, R7 en P1b. De tweede tak gaat van de positieve ingang naar de massa en wordt gevormd door de componenten C2, R3 en P1a. Uit de a- en b-codering van de potentiometer volgt dat beide weerstanden deel uitmaken van een stereopotentiometer en men mag in geen geval deze vervangen door twee afzonderlijke instelpotentiometers. De versterking van de schakeling wordt ingesteld door een tweede terugkoppeling van de uitgang. Deze gaat nu naar de inverterende of negatieve ingang van de versterker en bestaat uit R8, R6 en P2.

Er werd gesteld dat de terugkoppeling naar de "massa" gaat. Wie het schema goed bekijkt zal opmerken dat dit feit niet het geval is, want beide takken van de terugkoppelingen (C2 en de potentiometers) gaan naar het knooppunt van twee even grote weerstanden R1 en R2. Door deze twee weerstanden en de ontkoppelcondensator C1 wordt een zogenoemde kunstmatige massa gecreëerd, die precies op de helft van de voedingsspanning staat, maar voor wisselspanningen wel degelijk aan de "echte" mas-

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-1

##### Weerstanden, 1/4 W:

R1	4,7 k $\Omega$
R2	4,7 k $\Omega$
R3	10 k $\Omega$
R4	100 k $\Omega$
R5	4,7 k $\Omega$
R6	15 k $\Omega$
R7	10 k $\Omega$
R8	47 k $\Omega$

##### Condensatoren:

C1	100 $\mu$ F, 16 V
C2	47 nF, MKH
C3	1 $\mu$ F, 16 V
C4	47 nF, MKH
C5	330 nF, MKH
C6	10 $\mu$ F, 25 V
C7	100 nF, MKH

##### Geïntegreerde schakeling:

IC1 741 C

##### Diversen:

##### Instelpotentiometers:

P1	100 k $\Omega$ , stereo
P2	22 k $\Omega$

1 x 8-pens IC-voetje
2 x standaard chassisdeel
2 x standaard steker



sa ligt. De grote condensator C1 heeft immers een te verwaarlozen wisselspanningsweerstand. Dankzij deze kunstmatige massa is het mogelijk de oscillator te voeden tussen een positieve voedingsspanning (+9 tot +15 volt) en de massa.

De schakeling moet nu nog geactiveerd worden door een van de computer afkomstig signaal. Op de triggeringang wordt een korte datapuls van de computer aangesloten. Deze positieve puls moet ongeveer 5 milliseconde breed zijn. De condensator C5 blokkeert de halve voedingsspanning, die op de kunstmatige massa staat, zodat deze niet kan doordringen tot de ingewanden van de computer. Het pulstje wordt later door een laagdoorlaatfilter R5/C3 gevoerd. Dit is noodzakelijk om te verhinderen dat de zeer steile voorflank van de computerpuls doordringt tot de geluidsuitgang van de schakeling en er een onnatuurlijke scherpe klik hoorbaar is. Vervolgens wordt het signaal via weerstand R4 aan de positieve ingang van de versterker aangeboden.

Door deze plotse spanningssprong zal de oscillator even boven de kritische terugkoppelfactor worden ingesteld en een uitstervende sinus is het gevolg. Deze staat via scheidingscondensator C6 ter beschikking aan de geluidsuitgang.

De frequentie-afhankelijke terugkoppeling is zo gedimensioneerd dat geluiden met een frequentie tussen 30 en 300 Hz met behulp van de stereopotentiometer afgenomen kunnen worden. Men kan dit bereik enigszins verhogen door de weerstand R3 en R7 in gelijke mate te verkleinen.

De eenvoud van de schakeling heeft uiteraard zijn prijs. Zo zal men bij het experimenteren vaststellen dat het tamelijk moeilijk is de schakeling op een stabiele reproductie van een bepaald geluid af te regelen. Het variëren van de frequentie met de stereopotentiometer heeft bijvoorbeeld meestal tot gevolg dat men ook de terugkoppeling moet bijregelen. En deze laatste instelling is vrij kritisch, want het minste of geringste teveel aan terugkoppeling maakt de schakeling onstabiel. Het is daarom misschien wel een goed idee een extra instelpotentiometertje van 1 kilo-ohm in serie met P2 op te nemen. Het is dus niet mogelijk de schakeling te gebruiken voor het nabootsen van verschillende geluiden. Men zal voor elk slaginstrument een eigen schakeling moeten bouwen en deze schakeling precies afregelen tot het gewenste geluidseffect zo goed mogelijk benaderd wordt.

In principe is dat natuurlijk geen probleem, omdat de schakeling erg goedkoop is en slechts één datalijn van de computer nodig heeft.

Over het softwarematig aansturen van deze schakeling komen wij later in dit hoofdstuk terug. Op dit moment is het voldoende als men weet dat men met de schakeling kan experimenteren door met de hand +5 volt pulstjes op de triggeringang aan te leggen. Men kan bijvoorbeeld een drukknopje monteren tussen deze ingang en de voeding van de computer. Telkens als men deze drukschakelaar bedient wordt een computerpuls gesimuleerd en men kan de schakeling op deze manier afregelen op het beste effect.

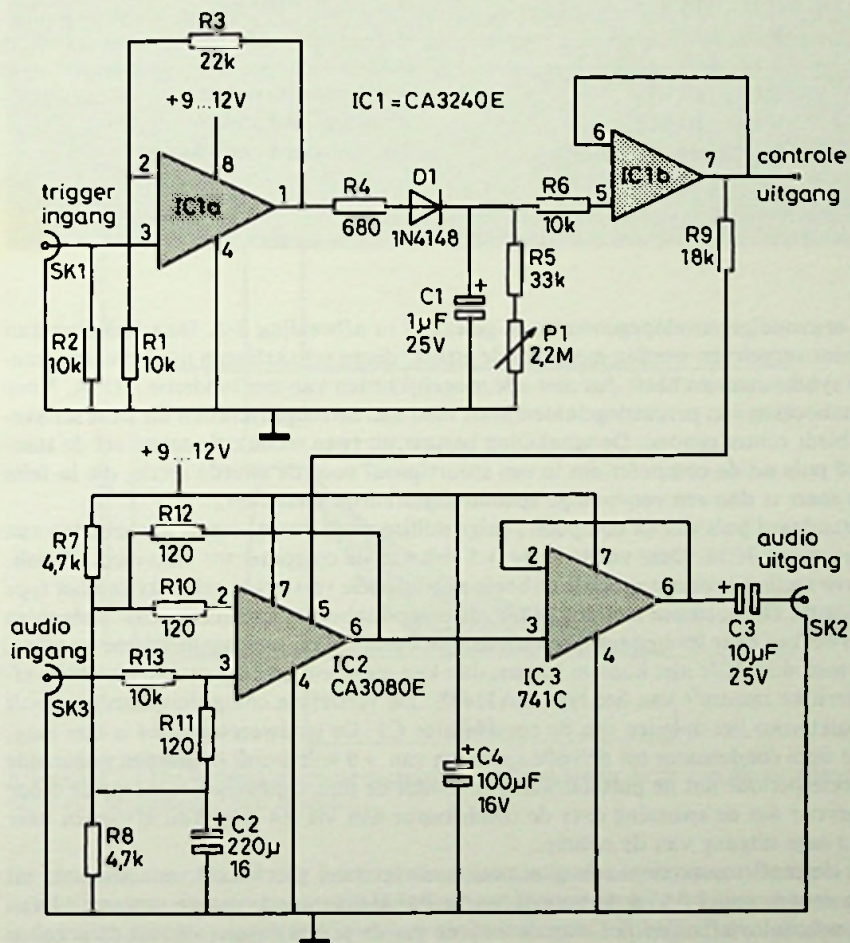
### **Omhullende vorm generator**

Door de fysische eigenschappen van een gedempte oscillator vervult deze schakeling in feite een dubbelrol. Het geheel wekt zowel het signaal op als de omhullende vorm van het signaal. Bij alle andere systemen zou men twee schakelingen in serie moeten schakelen: een toongenerator en een omhullende vorm of envelope generator, die er voor zorgt dat de grootte of amplitude van het signaal volgens een bepaalde curve afneemt van maximaal tot nul.

De gedempte sinusoscillator is echter alleen bruikbaar voor het genereren van drum-

achtige geluiden. Cymbalen, bellen en gongen kunnen niet op deze manier nagebootst worden.

Alvorens wij dus generatoren voor deze geluiden bespreken moeten wij eerst een enveloppegenerator aan de orde stellen. Deze schakeling is noodzakelijk voor het op een zo natuurlijk mogelijke wijze laten uitsterven van de geluiden van de oscillatoren die in de volgende paragrafen aan de orde komen. Maar ook voor drumgeluiden kan het gebruik van een enveloppeschakeling voordelen hebben. De eenvoudige schakeling van de vorige paragraaf is immers zeer moeilijk universeel inzetbaar. Door nu een gewone sinusoscillator te combineren met een envelope generator ontstaat een veel universele drumsynthesizer, die met behulp van enige potentiometertjes tijdens het spelen in te stellen is op een ander geluid zonder dat men het risico loopt dat het geheel op hol slaat en gaat oscilleren.



Afbeelding 2-2 Een envelope-generator is in wezen niets meer dan een spanningsgestuurde versterker.



## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-2

### Weerstanden, 1/4 W:

R1	10 k $\Omega$
R2	10 k $\Omega$
R3	22 k $\Omega$
R4	680 $\Omega$
R5	33 k $\Omega$
R6	10 k $\Omega$
R7	4,7 k $\Omega$
R8	4,7 k $\Omega$
R9	18 k $\Omega$
R10	120 $\Omega$
R11	120 $\Omega$
R12	10 k $\Omega$
R13	10 k $\Omega$

### Instelpotentiometer:

P1	2,2 M $\Omega$
----	----------------

### Condensatoren:

C1	1 $\mu$ F, 25 V
C2	220 $\mu$ F, 16 V
C3	10 $\mu$ F, 25 V
C4	100 $\mu$ F, 16 V

### Halfgeleiders:

D1	1 N 4148
----	----------

### Geïntegreerde schakelingen:

IC1	CA 3240 E
IC2	CA 3080 E
IC3	741 C

### Diversen:

3 x 8-pens IC-voetje
2 x standaard steker
2 x standaard chassisdeel

Een eenvoudige envelopegenerator is getekend in afbeelding 2-2. De schakeling kan enigszins vergeleken worden met de oude attack/decay schakelingen uit de vorige generatie synthesizers en heeft dus niet alle mogelijkheden van een moderne ADSR. Voor het nabootsen van percussiegeluiden heeft men aan de mogelijkheden die deze schakeling biedt echter genoeg. De schakeling bestaat uit twee secties: de eerste zet de standaard puls uit de computer om in een stuursignaal voor de tweede sectie, die in feite niets meer is dan een eenvoudige spanningsgestuurde versterker.

De standaard puls van de computer, enige milliseconde breed, wordt aangeboden aan de versterker IC1a. Deze versterkt de +5 volt van de computer tot ongeveer +9 volt. In deze sectie wordt een speciale dubbele operationele versterker gebruikt van het type CA3240E. Dit is, samen met de LM358, de enige dubbele opamp die in staat is signalen te verwerken en te leveren tot tegen het massapotentiaal bij niet symmetrische voeding. Zou men deze IC's niet kunnen kopen, dan kan men ook gebruik maken van twee afzonderlijke opamp's van het type CA3140E. De versterkte computerspanning wordt gebruikt voor het opladen van de condensator C1. De laadweerstand R4 is zeer laag, zodat deze condensator tot de volle spanning van +9 volt wordt opgeladen gedurende de korte periode dat de puls aanwezig is. Nadat de puls verdwenen is, zorgt de diode D1 ervoor dat de spanning over de condensator niet via R4 weer kan afvloeien naar de nu lage uitgang van de opamp.

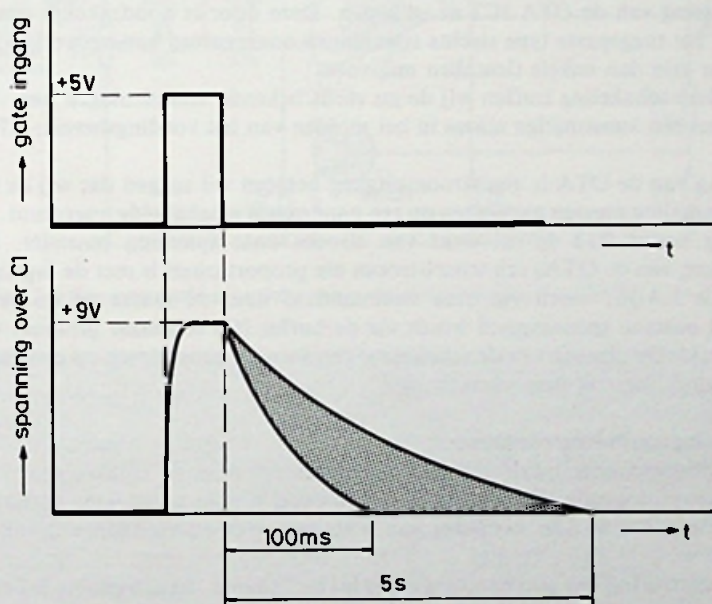
Over de condensator staat echter een ontladweerstand geschakeld, samengesteld uit de vaste weerstand R5 en de potentiometer P1. Het gevolg is dat de ontladtijd van de condensator afhankelijk is van de waarde van de potentiometer en met de gekozen onderdelen kan men de ontladtijd instellen tussen ongeveer 100 milliseconde en enige seconde.



De smalle positieve puls van de computer wordt dus, zie de grafieken van afbeelding 2-3, omgezet in een positieve puls met kleine stijgtijd, maar grote en bovendien instelbare achterflank.

De schakeling rond IC1 is zonder meer de meest eenvoudige methode om een TTL-puls om te zetten in een spanning waarmee een spanningsgestuurde versterker gecontroleerd kan worden. Er schuilt echter een addertje onder het gras!

Het lage niveau van een TTL-poort is gedefinieerd als kleiner dan 400 millivolt. Nu is het in de praktijk zo dat alle schakelingen in de praktijk een veel lagere laagspanning hebben. Spanningen van 100 millivolt zijn geen uitzondering. Zou men echter het ongeluk treffen dat het IC dat de schakeling rond IC1 stuurt maar net voldoet aan de specificaties, dus een laagniveau van ongeveer 400 millivolt afgeeft, dan zal de schakeling niet werken. Die 400 millivolt op de ingang van IC1a is namelijk groot genoeg om te beletten dat de condensator C1 volledig kan ontladen en het gevolg is dat het stuur-sig-naal voor de spanningsafhankelijke versterker niet volledig naar nul streeft. Het probleem is (voor die zeldzame keer dat het zich zal voordoen) echter gemakkelijk op te lossen. Het volstaat een siliciumdiode tussen de triggeringang en pen 3 van IC1a te schakelen.



Afbeelding 2-3 Het verband tussen de triggerpuls van de computer en de puls die de omhullende vorm van het geluidssig-naal bepaalt.

De spanning over C1 zal niet lineair dalen, maar volgens een exponentiële curve. Dat is een algemene eigenschap van het laden en ontladen van condensatoren. In ons geval is dat alles behalve een nadeel, want de snelle daling in het begin, gevolgd door een steeds tragere spanningsval bootst het afnemen van de intensiteit van percussie-instrumenten feilloos na. De spanning over de condensator wordt aangeboden aan de

tweede operationele versterker. Deze is als buffer geschakeld, heeft dus een versterking van 1 en een zeer hoge ingangsweerstand. Deze trap is noodzakelijk omdat elke belasting van de condensator tot een beïnvloeding van de vorm van de curve zou voeren.

De spanningsafhankelijke versterker (VCA) is opgebouwd rond een OTA, een operational transconductance amplifier. In principe komt de werking van zo'n IC op het volgende neer. De versterking van de OTA is afhankelijk van de stroom die men in de ABC-ingang (pin 5) stuurt. Hoe groter deze I-ABC, hoe groter de versterking. Een I-ABC van nul maakt het IC inactief. De schakeling vertegenwoordigt dan in feite niets meer dan een oneindig hoge weerstand tussen in- en uitgang en het zal duidelijk zijn dat er dan van signaalversterking geen sprake is.

Vandaar dan ook dat het zo belangrijk is dat de spanning over C1 echt tot nul afneemt. Elke restspanning over deze condensator heeft tot gevolg dat de OTA blijft versterken en dat het signaal dat via de OTA moet uitsterven in min of meerdere mate aanwezig blijft.

De controlespanning op de uitgang van de buffer wordt in een I-ABC omgezet door een serieweerstand R9.

Het signaal van de toonopwekkende generator wordt via een weerstandsdeler R13/R11 aan de ingang van de OTA IC2 aangeboden. Deze deler is noodzakelijk omdat een OTA van het toegepaste type slechts spanningen onvervormd kan verwerken die niet veel groter zijn dan enkele tientallen millivolts.

Ook bij deze schakeling treffen wij de nu reeds bekende voorzieningen aan voor het creëren van een kunstmatige massa in het midden van het voedingsbereik: R7, R8 en C2.

De uitgang van de OTA is een stroomuitgang hetgeen wil zeggen dat wij de uitgang van de schakeling moeten aansluiten op een naar massa geschakelde weerstand. In deze schakeling neemt R12 de rol waar van stroom naar spanning omzetter. De uitgangsstroom van de OTA, een wisselstroom die proportioneel is met de ingangsspanning en de I-ABC, vloeit via deze weerstand af naar de massa en de over deze weerstand onstane spanningsval wordt via de buffer IC3 toonbaar gemaakt voor de buitenwereld. De uitgang van de schakeling kan worden aangesloten op een van de ingangen van de later te bespreken mengers.

### **Een spanningsgestuurde oscillator**

Het is in principe mogelijk drumgeluiden te genereren door de schakeling van afbeelding 2-1 als vrijlopende oscillator in te stellen (weet u nog: versterking verhogen met P2) en de uitgang van deze oscillator aan te sluiten op de envelope-ingang van afbeelding 2-2.

De computersturing valt dan natuurlijk weg bij het schema van afbeelding 2-1 en wordt verplaatst naar afbeelding 2-2.

Het voordeel van deze methode is dat de frequentie nu zonder meer over het gehele bereik is in te stellen door het verdraaien van de stereopotentiometer P1a + b en dat de uitsterftijd over een breed gebied regelbaar is met P1 in afbeelding 2-2. Beide regelingen beïnvloeden elkaar absoluut niet en van een kritische oscillatiegrens is evenmin sprake.

Het nadeel van de systeem is echter dat de frequentie van het signaal constant blijft. Bij een heleboel drums en trommels kan men echter vaststellen dat de frequentie van het geluid lager wordt naarmate het effect uitsterft.

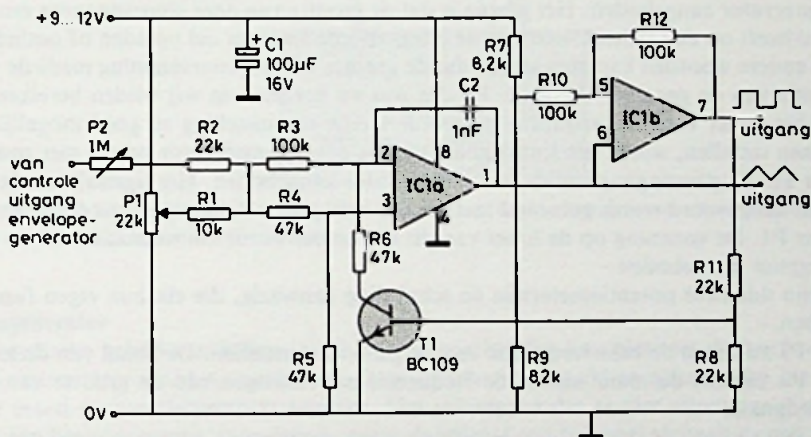


Om zo'n geluid na te bootsen heeft men een oscillator nodig, waarvan de frequentie afhangt van de stuurspanning, een zogenoemde VCO of spanning gecontroleerde oscillator. Men kan de stuurspanning van zo'n VCO dan aansluiten op de stuurspanning van de envelopegenerator en het na te streven effect is een feit.

Goed dus, een spanning gestuurde oscillator.

Meestal worden VCO's uitgevoerd met OTA's, maar in het schema van afbeelding 2-4 wordt gebruik gemaakt van de aloude functiegenerator techniek. Zo'n schakeling bestaat uit een driehoekgenerator, gevolgd door een Schmitt-trigger. De uitgang van de Schmitt-trigger wordt teruggekoppeld naar de ingang van de volgens het Miller integratie principe werkende driehoekgenerator.

IC1a is geschakeld als Miller integrator, IC1b als Schmitt-trigger.



Afbeelding 2-4 Een universele spanningsgestuurde functiegenerator of VCO.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-4

Weerstanden, 1/4 W:

- R1 10 kΩ
- R2 22 kΩ
- R3 100 kΩ
- R4 47 kΩ
- R5 47 kΩ
- R6 47 kΩ
- R7 8,2 kΩ
- R8 22 kΩ
- R9 8,2 kΩ
- R10 100 kΩ
- R11 22 kΩ
- R12 100 kΩ

Instelpotentiometers:

- P1 22 kΩ
- P2 1 MΩ

Condensatoren:

- C1 100 µF, 16 V
- C2 1 nF, MKH

Halfgeleider:

- T1 BC 109

Geïntegreerde schakeling:

- IC1 CA 3240 E

Diversen:

- 1 x 8-pens IC-voet



De uitgangsspanning van de Schmitt-trigger wordt aan de ingang van de integrator aangeboden. Het gevolg is dat de integratiecondensator C2 lineair zal op- of ontladen. Een en ander is afhankelijk van de grootte van de spanning op de uitgang van de Schmitt-trigger. Is de condensator tot een bepaalde waarde opgeladen, dan schakelt de Schmitt-trigger om. Het nu tegengestelde potentiaal op de uitgang van de trigger zal er voor zorgen dat de integratiecondensator gaat opladen als hij ontladen was of omgekeerd. De spanning op de uitgang van de eerste operationele versterker gaat dus volgens een lineaire wet heen en weer tussen twee niveau's, de uitgang van de tweede opamp springt snel heen en weer tussen dezelfde niveau's. De schakeling levert dus zowel een driehoekvormige als een rechthoekvormige spanning af. De Miller integrator wordt echter ook nog eens gestuurd door een spanning die afkomstig is van de controle-ingang. De spanning op deze ingang wordt via P2 en R2 aan de ingang van de integrator aangeboden. Het gevolg is dat de grootte van deze stuurspanning een invloed heeft op de snelheid waarmee de integratiecondensator zal opladen of ontladen. Met andere woorden kan men stellen dat de grootte van de stuurspanning mede de frequentie van de generator bepaalt. En dat was nu precies wat wij wilden bereiken. Om het effect van deze spanningsgestuurde frequentie-instelling zo goed mogelijk te kunnen instellen, wordt het stuursignaal van de envelopegenerator echter niet zonder meer aan de sturingang van de Miller integrator aangeboden. Het signaal dat via R2 wordt aangevoerd wordt gemengd met een spanning die afkomstig is van de potentiometer P1. De spanning op de loper van dit onderdeel wordt via weerstand R1 op het mengpunt aangeboden.

Er zijn dus twee potentiometers in de schakeling aanwezig, die elk hun eigen functie hebben.

Met P1 kan men de basisfrequentie van de generator instellen. De stand van de loper van P2 bepaalt de mate waarin de frequentie zal afhangen van de grootte van het stuursignaal.

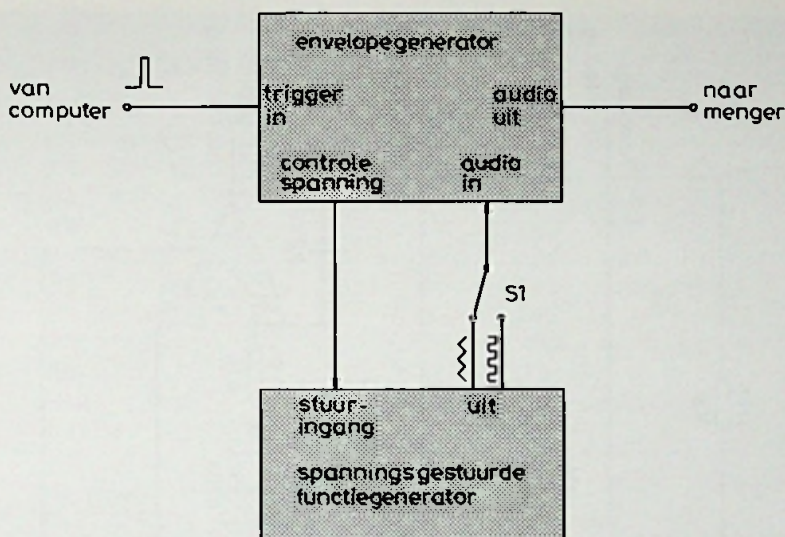
### **Een uitgebreide drumsimulator**

Met de besproken schakelingen van de envelopegenerator en de spanningsgestuurde functiegenerator kan men een zeer universele drumsimulator samenstellen. Het basis-schema is getekend in afbeelding 2-5.

De datapuls van de computer gaat naar de triggeringang van de envelopegenerator. De controlespanning van dit blok wordt verbonden met de sturingang van de functiegenerator. De twee uitgangen van deze schakelingen worden aangesloten op de twee contacten van een enkelpolige omschakelaar S1. Het moedercontact van dit onderdeel gaat naar de audio-ingang van de envelopegenerator. De audio-uitgang van deze schakeling wordt verbonden met een ingang van de nog te beschrijven menger of kan rechtstreeks aan een audioversterker worden aangesloten.

Zoals reeds gezegd kan men met de schakeling experimenteren door smalle +5 volt pulsjes aan de triggeringang van de envelopegenerator aan te sluiten. Men zou bijvoorbeeld een draadje kunnen aansluiten op een +5 volt voeding en met de andere kant even de triggeringang aantippen.

Men moet er echter wel rekening mee houden dat het met de hand absoluut onmogelijk is een even korte puls op te wekken als de computer levert. Het precies instellen van het gewenste geluidseffect kan dus beter nog even wachten tot de software beschreven is waarmee men het geheel via de computer kan sturen.



Afbeelding 2-5 Algemeen schema voor het aansluiten van de envelopegenerator op een van de beschreven geluidsvormende generatoren.

## Ruisgenerator

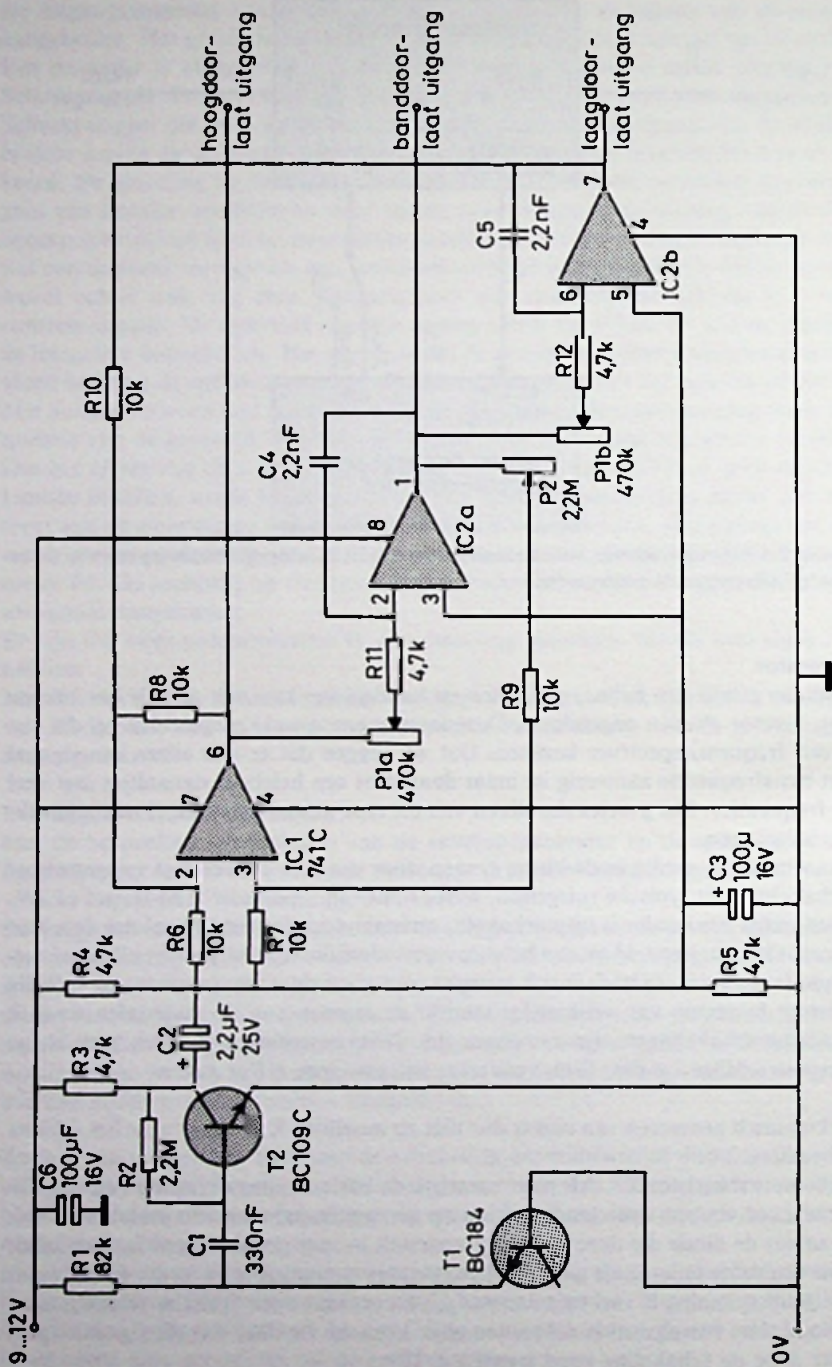
Het typische geluid van bellen, cymbalen en handgeklap kan niet met de beschreven functiegenerator worden nagebootst. Deze instrumenten wekken geluiden op die een zeer breed frequentiespectrum bezitten. Dat wil zeggen dat er niet alleen een signaal met een basisfrequentie aanwezig is, maar daarnaast een heleboel signaaltjes met veel hogere frequenties. Het precies simuleren van dit type geluid vergt nogal wat ingewikkelde schakelingen.

Toch kan men vrij aardig in de buurt komen door een zeer eenvoudige ruisgenerator in te schakelen. Het typische ruisgeluid, welbekend van "sissende" FM-tuners of TV-toestellen nadat een zender is uitgeschakeld, ontstaat doordat het signaal dat deze ruis veroorzaakt is samengesteld uit een heleboel afzonderlijke signaaltjes met allemaal verschillende frequenties. In basis is ruis terug te voeren tot de onvoorspelbare en volledig willekeurige beweging van vrije elektronen in de atomen van de materialen waaruit elektronische schakelingen zijn samengesteld. Deze bewegingen wekken zeer kleine spanningsverschillen op die, flink versterkt, het gewenste effect geven.

Het elektronisch genereren van ruis is dus niet zo moeilijk. Kijk maar naar het schema van afbeelding 2-6.

De ruisbron is transistor T1. Als men namelijk de basis-emitter overgang van een silicium transistor via een weerstand aansluit op een gelijkspanning van meer dan 6 volt en wel zo dat de diode die deze overgang voorstelt in sper gepolariseerd is, dan zal de diode als een soort zenerdiode gaan werken. De zenerspanning is ongeveer 6 volt, maar op deze gelijkspanning is veel ruis aanwezig, veroorzaakt door fysische verschijnselen in de diode. Het ruissignaal is echter tamelijk klein en vandaar dat dit signaal wordt versterkt door de schakeling rond transistor T2.





Afbeelding 2-6 Een ruisgenerator met drie gefilterde uitgangen.



## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-6

### Weerstanden, 1/4 W:

R1	82 k $\Omega$
R2	2,2 M $\Omega$
R3	4,7 k $\Omega$
R4	4,7 k $\Omega$
R5	4,7 k $\Omega$
R6	10 k $\Omega$
R7	10 k $\Omega$
R8	10 k $\Omega$
R9	10 k $\Omega$
R10	10 k $\Omega$
R11	4,7 k $\Omega$
R12	4,7 k $\Omega$

### Instelpotentiometers:

P1	470 k $\Omega$ , stereo
P2	2,2 M $\Omega$

### Condensatoren:

C1	330 nF, MKH
C2	2,2 $\mu$ F, 25 V
C3	100 $\mu$ F, 16 V
C4	2,2 nF, MKH
C5	2,2 nF, MKH
C6	100 $\mu$ F, 16 V

### Halfgeleiders:

T1	BC 184 (zie tekst)
T2	BC 109 C

### Geïntegreerde schakelingen:

IC1	741C
IC2	1458 C

### Diversen:

2 x 8-pens IC-voetje
----------------------

Zoals uit het schema blijkt wordt voor T1 een speciale transistor, de BC184, ingezet. Deze transistor levert het grootste ruissignaal en zeker als men de schakeling voedt met +9 volt, wordt aangeraden dit type te gebruiken.

Een transistor levert zogenoemde witte ruis. Dit soort ruis is niet erg fraai om te horen en vandaar dat de ruisgenerator wordt gevolgd door een universeel filter. Deze uit drie operationele versterkers samengestelde schakeling zal de frequentiesamenstelling van het ruissignaal beïnvloeden. Het filter is universeel, omdat het zowel een hoogdoorlaat, laagdoorlaat als banddoorlaat uitgang heeft. De eerste uitgang verzwakt de lage frequenties in het ruissignaal, de tweede laat alleen de lage frequenties door en met het bandfilter is het mogelijk een smalle frequentieband uit het totale signaal te filteren. De drie operationele versterkers worden ook nu weer gevoed tussen de positieve voeding en de massa en er wordt door middel van R4, R5 en C3 een kunstmatige massa-referentie gecreëerd in het midden van het voedingsbereik. Zoals blijkt zijn de drie opamp's op deze kunstmatige massa aangesloten. Het ruisfilter heeft twee bedieningsorganen. Met P1, een stereopotentiometer, kan men de afsnijfrequentie van het filter instellen tussen enige honderden Hz en enige tientallen kHz. Deze frequentie bepaalt welke frequenties wel en welke niet worden doorgelaten. Met P2 kan men de kwaliteitsfactor van het banddoorlaat filter regelen. Een hoge Q-factor komt overeen met een zeer smalle doorlaatband en een hoge versterking van de signalen in deze band.

De drie uitgangen van de ruisgenerator kunnen, volgens het basisschema van afbeelding 2-5, worden aangesloten op een driestanden schakelaar, waarvan het moedercontact naar de audio-ingang van de envelopegenerator gaat.

Men zal moeten experimenteren welke ruisuitgang het beste geschikt is om een bepaald instrument na te bootsen. Cymbalen vereisen de hoogdoorlaatuutgang, een hoge afsnijfrequentie een hoge Q-factor en een uitsterftijd van ongeveer 2 seconde.

## Metaalachtige geluiden

Metaalachtige geluiden, zoals bijvoorbeeld geproduceerd door gongen of bellen, zijn zeer complex van samenstelling. Een heleboel geluiden - een typisch voorbeeld is een snaarinstrument - produceren een geluid dat in basis bestaat uit een signaal van één frequentie en een aantal harmonischen daarvan. Dat zijn signalen met een frequentie die gelijk is aan een veelvoud van de frequentie van het basissignaal. De typische klank van het geluid ontstaat doordat de harmonischen voor verschillende instrumenten een andere amplitudeverdeling hebben.

Metaalachtige geluiden zijn echter niet harmonisch van samenstelling. Om deze effecten te simuleren kan men dus niet uitgaan van de driehoek- of blokvormige spanning die door de functiegenerator geleverd wordt. Deze signalen zijn immers zeer rijk aan harmonischen, maar bevatten absoluut geen disharmonische frequenties.

De meest eenvoudige elektronische benadering van een complex signaal met rijke disharmonische inhoud is gebruik te maken van twee afzonderlijke oscillatoren die worden aangesloten op een zogenoemde ringmodulator. Een ringmodulator onderdrukt de signalen die door de generatoren worden geleverd, maar wekt signalen op met frequenties die gelijk zijn aan de som- en de verschilfrequenties van de oscillatorsignalen.

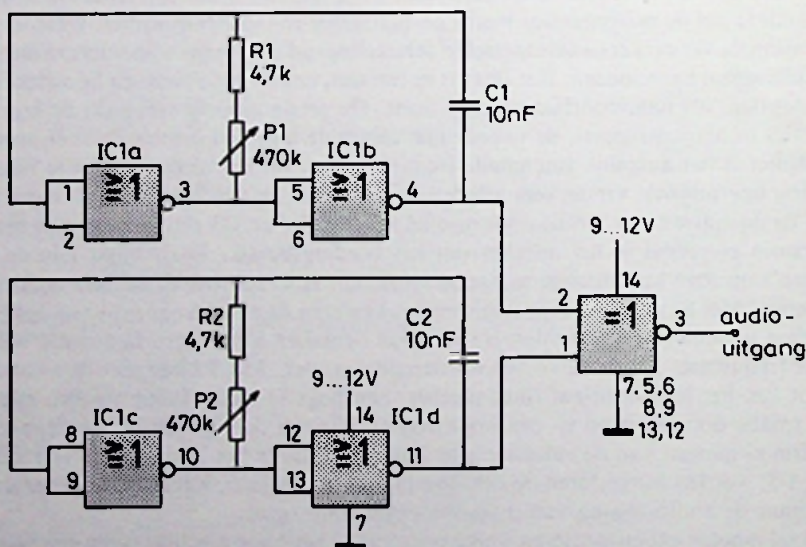
Een voorbeeld.

Stel dat de twee oscillatoren signalen opwekken met frequenties van 1 en 2,5 kHz. Op de uitgang van de ringmodulator ontstaat dan een signaal dat is samengesteld uit twee deelsignalen met frequenties van:

$$1 \text{ kHz} + 2,5 \text{ kHz} = 3,5 \text{ kHz}$$

$$2,5 \text{ kHz} - 1 \text{ kHz} = 1,5 \text{ kHz}$$

Het is duidelijk dat er geen harmonisch verband bestaat tussen het ene en het andere signaal.



Afbeelding 2-7 Twee blok golfoscillatoren en een ringmodulator produceren niet harmonische signalen.



## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-7

### Weerstanden, 1/4 W:

R1 4,7 k $\Omega$

R2 4,7 k $\Omega$

### Instelpotentiometers:

P1 470 k $\Omega$

P2 470 k $\Omega$

### Condensatoren:

C1 10 nF, MKH

C2 10 nF, MKH

### Geïntegreerde schakelingen:

IC1 CD 4001 BE

IC2 CD 4077 BE

### Diversen:

2 x 14-pens IC-voetje

Dit geldt als de twee oscillatoren zuivere sinussen afleveren. Vervangt men de sinus-oscillatoren echter door blokvolggeneratoren, dan ontstaat aan de uitgang van de ring-modulator een signaal dat is samengesteld uit zeer vele deelsignalen met disharmonische frequenties.

Zo'n systeem kan volledig met digitale schakelingen worden nagebouwd.

Kijk maar naar afbeelding 2-7.

De twee blokvolgoscillatoren worden op de standaard manier samengesteld uit twee teruggekoppelde inverters. In dit schema worden daarvoor NOR-poorten uit een CD4001BE CMOS-IC gebruikt. De frequentie van de generatoren is instelbaar met de potentiometers P1 en P2.

De ringmodulator is de eenvoud zelve. De twee uitgangen van de oscillatoren worden verbonden met de twee ingangen van een EXNOR-poort van het type CD4077BE. Dit is niet zo'n bekende soort poort en vandaar dat wij het logische gedrag in het kort zullen bespreken.

De uitgang van een EXNOR-poort wordt laag als de logische niveau's op beide ingangen aan elkaar gelijk zijn. Het gevolg van dit gedrag is dat er op de uitgang van de poort een volledig willekeurige volgorde van hoge en lage signalen ontstaat. De twee oscillatoren zijn immers niet gesynchroniseerd en er bestaat geen wiskundig verband tussen beide frequenties. Die willekeurige opeenvolging van pulsen met willekeurige breedte bevat signalen met zeer veel niet harmonische frequenties.

De uitgang van de schakeling kan weer op de bekende manier worden verbonden met de audio-ingang van de envelopegenerator.

### Universele menger

In de meeste gevallen zal men verschillende geluidsreproducerende schakelingen moeten nabouwen om het volledige arsenaal van percussie-instrumenten te kunnen nabootsen.

De diverse uitgangen van de envelopegeneratoren moeten dan met elkaar gemengd worden.

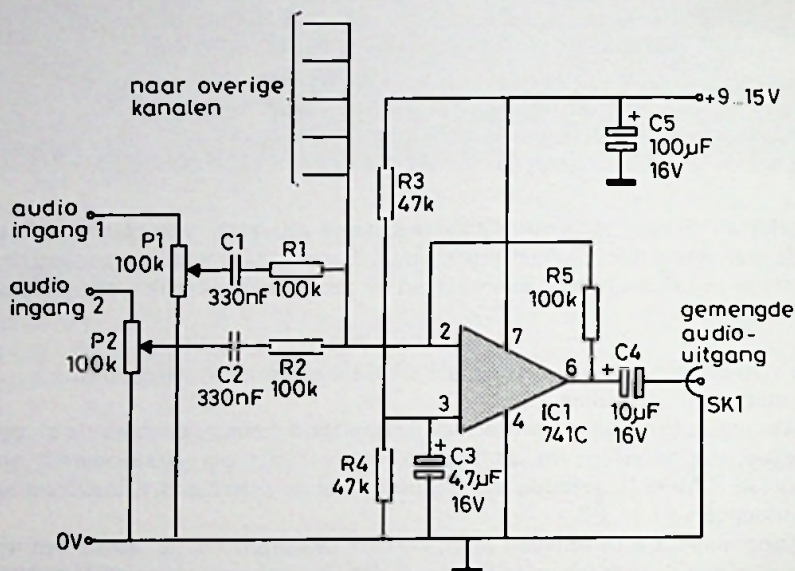
Afbeelding 2-8 geeft het schema van een eenvoudige, maar uitstekende menger.

De operationele versterker werkt met een zogenoemd virtueel nulpunt. De positieve ingang staat weer ingesteld op de helft van de voedingsspanning, dus op kunstmatige



massa. De spanning op de negatieve ingang zal er nu naar streven gelijk te worden aan de spanning op de positieve ingang. De verschillende te mengen signalen worden aan dit virtuele nulpunt aangevoerd via serieweerstanden R1 en R2.

Natuurlijk moet men de mogelijkheid hebben het volume van elk effect afzonderlijk in te stellen. Vandaar dat elke uitgang van de geluidsvormende schakelingen wordt aangesloten op een potentiometer P1, P2).



Afbeelding 2-8 Een universele menger, die met elk gewenste aantal ingangen uitgevoerd kan worden.

## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 2-8

### Weerstanden 1/4 W:

R1 100 kΩ  
R2 100 kΩ  
R3 47 kΩ  
R4 47 kΩ  
R5 100 kΩ

### Instelpotentiometers:

P1 100 kΩ  
P2 100 kΩ

### Condensatoren:

C1 330 nF, MKH  
C2 330 nF, MKH  
C3 4,7 μF, 16 V  
C4 10 μF, 16 V  
C5 100 μF, 16 V

### Geïntegreerde schakeling:

IC1 741 C

### Diversen:

1 x 8-pens IC-voetje  
1 x standaard steker  
1 x standaard chassisdeel

## Software

In principe zijn er drie mogelijke benaderingen bij het besturen van de drumsynthesizer uit een computer. Op de eerste plaats kan men de software zo schrijven dat de synthesizer rechtstreeks te bedienen is door het bedienen van de toetsen van het toetsenbord van de computer. Aan elke toets kan dan een bepaald instrument toegewezen worden. De software moet dan het toetsenbord aftasten en bij indrukken van een toets bepaalde data-uitgangen hoog maken. Een verfijning van dit systeem is dat de op het toetsenbord gespeelde opeenvolging van effecten onmiddellijk in het geheugen wordt opgeslagen en later weer nagespeeld kan worden. De techniek voor het realiseren van zo'n digitale recorder zijn reeds in het vorige hoofdstuk besproken.

Omdat percussiegeluiden vaak in een bepaald, zich steeds herhalend ritme worden gespeeld op verschillende drums, cymbalen en dergelijke, worden in de vorm van DATA-regels in het programma verwerkt. Het bedienen van een toets van het toetsenbord heeft nu niet bepaald effect tot gevolg, maar schakelt een bepaald ritme in. Dit systeem zal vooral muzikanten aanspreken die hun eigen instrument willen begeleiden door een automatische percussie-sectie.

Het zal duidelijk zijn dat elke benadering een specifiek soort programma vereist, bovendien aangepast aan de computer die men gebruikt. Het genereren van de triggerpulsen vanuit BASIC is echter vrij standaard voor alle machines.

Programma 2-1 geeft bijvoorbeeld de standaardroutine voor een Commodore 64.

```
5 POKE 56579,255
10 GET A$:IF A$="" THEN 10
20 IF A$="1" THEN POKE 56577,1:POKE 56577,0
30 IF A$="2" THEN POKE 56577,2:POKE 56577,0
40 IF A$="3" THEN POKE 56577,4:POKE 56577,0
50 IF A$="4" THEN POKE 56577,8:POKE 56577,0
60 GOTO 10
```

Programma 2-1 Op deze manier kan men bij de Commodore 64 de triggerpulsen opwekken bij het bedienen van het toetsenbord.

Regel 10 definieert de datalijnen van de gebruikerspoort als uitgangen. Daarna wordt een lus ingeschakeld, die het toetsenbord aftast en bij indrukken van de toetsen 1, 2, 3 of 4 steeds andere gegevens naar de poort stuurt.

Door de decimale getallen 1, 2, 4 of 8 te POKE'en zal steeds slechts één datalijn van de poort hoog worden. Omdat de triggerpuls slechts een beperkte breedte mag hebben wordt onmiddellijk na de eerste POKE een tweede uitgevoerd, waarmee alle datalijnen weer op laag worden gezet. De traagheid van BASIC zorgt ervoor dat de puls breed genoeg is om de enveloppgenerator te sturen.



# Hoofdstuk 3

---

## Digitale synthese van geluiden

### Inleiding

De oude, vertrouwde manier voor het elektronisch nabootsen van geluiden, namelijk een combinatie van een spanningsgestuurde oscillator, een spanningsgestuurd filter en een ADSR-schakeling wordt tegenwoordig in de moderne commerciële apparaten van de betere soort vervangen door volledig digitaal werkende systemen.

Bij deze zogenoemde digitale geluidssynthese kan men twee fundamenteel verschillende wegen bewandelen.

Bij de eerste methode wordt de samenstelling van een bepaald geluid door de software bepaald. De noodzakelijke hardware is tot een minimum beperkt, namelijk een goede en snelle digitaal naar analoog omzetter. Dit systeem heeft echter het grote nadeel dat men zeer goed op de hoogte moet zijn van de eigenschappen van mechanische geluid-sopwekking omdat men de specifieke vorm van het geluidssignaal volledig als het ware met de hand moet reconstrueren.

In de industrie maakt men daarom meer en meer gebruik van het tweede systeem, waarbij natuurlijke geluiden in digitale codes worden omgezet en in niet uitwisbare geheugens worden opgeslagen. Deze tweede methode vereist veel meer hardware, omdat men naast de DAC ook nog eens een ADC nodig heeft om het te verwerken signaal om te zetten in een groot aantal binaire codes.

Bij deze methode wordt er geen acoustische deskundigheid vereist van de mensen die met de computer omgaan, omdat de elektronica de signalen, zo nauwkeurig als de schakeling toelaat, omzet in digitale codes.

Opgemerkt kan worden dat het tweede systeem nog een groot voordeel heeft. Als men de uitgangscodes van de ADC niet opslaat in ROM maar in RAM, dan kan men gegevens vertraagd uitlezen waardoor een ideale digitale nagalm en/of echo ontstaat.

Voor de experimenteerder met digitale synthese doet zich het probleem voor dat BASIC veel en veel te traag is om analoge signalen met voldoende snelheid om te zetten in digitale codes en daarna deze codes weer om te vormen in mooie analoge signalen. Zelfs voor het digitaal modelleren van een doodgewoon audiosignaal als een sinus van 1kHz moet men toch minstens enige honderden malen per seconde een binaire acht bit code omzetten in een analoog signaal. En met een typische executiesnelheid van enige tientallen milliseconde per BASIC-statement lukt dat nooit.

De digitale geluidsvormgever zal dus machinecode moeten beheersen en niet zomaar wat algemene beginselen, maar grondig! Zonder deze kennis moet men er echt niet aan beginnen. Gelukkig valt het aan de hardwarezijde allemaal best mee. De noodzakelijke schakelingen zijn tamelijk eenvoudig zelf te bouwen en niet veel ingewikkelder dan de tot nu toe in dit boek behandelde schema's.

### Software gestuurde geluidssynthese

Zoals reeds gezegd vereist de softwarematige benadering de minste hardware. Dit is dan ook een goede start voor onze experimenten, omdat wij aan de hand van de be-

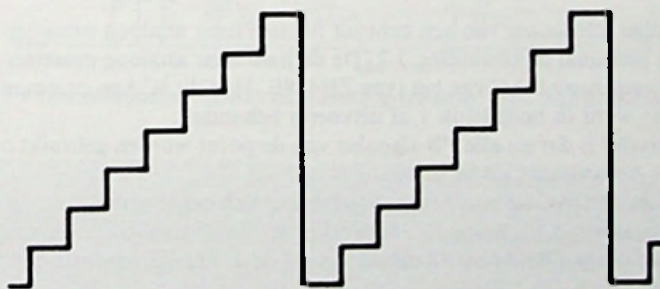


schreven techniek de algemene basisprincipes van digitale geluidssynthese kunnen voorstellen en de noodzakelijke hardware bovendien ook nog bij de latere experimenten bruikbaar is.

Een analoog signaal heeft als fundamentele eigenschap dat de momentele grootte van het signaal - dat is de grootte op een bepaald moment in het verloop van de tijd - elke willekeurige waarde kan hebben tussen een minimum en een maximum. De momentele waarde van bijvoorbeeld het signaal van een drum kan de ene milliseconde 0,12345 volt groot zijn en een milliseconde later 0,12346 volt. Analoge signalen kunnen dus de meest grillige vormen aannemen tussen de uiterste eenvoud van een mooie echte onvervormde sinus en het nauwelijks in wiskundige formules te vatten signaal dat ruis heet. Digitale signalen echter, kennen slechts twee groottes: laag (ongeveer 0 volt) en hoog (ongeveer 4,5 volt).

Gelukkig heeft men acht digitale signalen ter beschikking en wij weten nu reeds dat daarmee 256 verschillende toestanden en bij gebruik van een digitaal naar analoog omzetter dus 256 verschillende spanningen gegenereerd kunnen worden. En dat is het basisprincipe van digitale geluidssynthese. De vorm van het analoge signaal wordt in zoveel mogelijke stappen - men noemt het aantal stappen de *aftast-rate* - nagebootst door voor elke stap de combinatie van hoge en lage signalen op de databus te zetten die overeen komt met een analoge spanning die de echte waarde van de spanning zo goed mogelijk benadert.

Het onverbidelijke gevolg van deze techniek is dat een digitaal opgewekt signaal altijd een stapsgewijze benadering is van de originele. Met een acht bit brede databus kan men immers slechts 256 verschillende spanningswaarden opwekken en het uitgangssignaal van de DAC zal bij elke aftasting stapsgewijs, dus met een sprong, naar de best mogelijke nieuwe benadering springen. In afbeelding 3-1 wordt bijvoorbeeld een lineair stijgende zaagtand nagebootst met acht stappen.



Afbeelding 3-1 een digitaal nagebootste zaagtandspanning.

Natuurlijk is dit een zeer grove benadering en de afzonderlijke stappen zijn goed zichtbaar. Zo'n signaal, aangeboden aan een laagfrequent versterker zou niet klinken zoals een identiek signaal uit een echte analoge zaagtandgenerator. Men kan natuurlijk acht bit inschakelen voor het simuleren van de zaagtand en de 256 mogelijke stapjes zouden dan de ideale rechtlijnig stijgende spanning zo goed benaderen dat er al een zeer goede oscilloscoop voor nodig is om de afzonderlijke trapjes in het signaal te zien.

Helaas is het menselijk gehoor veel gevoeliger voor vervormingen dan zelfs de beste

oscilloscoop. De trapjes zijn plotse spanningsvariaties en zoals steeds vertegenwoordigen die zeer hoge harmonische frequenties in het signaal. Deze zijn goed hoorbaar. Bovendien is het helaas zo dat het in de meeste gevallen niet mogelijk is alle acht de beschikbare bits te gebruiken. Dat is het gevolg van de relatief lage klokfrequenties waarmee de microprocessoren in de goedkope huiscomputers werken. Door deze lage verwerkingssnelheid zijn dit soort computers zelfs bij gebruik van machinecode niet in staat meer dan ongeveer 100.000 waarden per seconde op de databus te zetten. Dat lijkt erg veel, maar vergeet niet dat het bij ingewikkeld gevormde signalen - en dat zijn percussie-signalen zonder meer - noodzakelijk is minstens 200 tot 500 maal per periode af te tasten om een min of meer natuurlijk geluid te verkrijgen. De maximale frequentie van het signaal bedraagt dan slechts 200 tot 500 Hz, hetgeen veel te laag is. Men kan de uitgangsfrequentie verhogen door minder dan acht bit te wisselen, maar dit heeft uiteraard een veel kleiner aantal mogelijke spanningswaarden en dus een grotere vervorming tot gevolg.

De stapvormige benadering bevat, zeker als men van slechts 6 bit gebruik maakt, zeer veel hoge harmonischen. Bovendien kunnen de plotse spanningssprongen bij elke af-tasting de werking van bepaalde laagfrequent schakelingen verstoren. Zo zouden zij bij sommige nogal kritisch teruggekoppelde eindversterkers aanleiding kunnen geven tot oscillaties. Vandaar dat het steeds noodzakelijk is de uitgang van de DAC aan te sluiten op een zo scherp mogelijk laagdoorlaatfilter, dat alle hogere harmonischen spert en de scherpe flanken van de trappen afzwakt.

Zeer goede filters die werkelijk steil (bijna vertikaal) afsnijden boven de 10 kHz zetten de trapvormige benadering om in een spanning die nauwelijks van het origineel te onderscheiden is. Helaas zijn deze zogenoemde hogere orde filters niet zo gemakkelijk zelf te ontwerpen en te bouwen, omdat men gebruik moet maken van precisie weerstanden en condensatoren die voor de doe het zelf niet of slechts met heel veel moeite te koop zijn.

Een eenvoudige schakeling van een acht bit digitaal naar analoog omzetter met derde orde filter is getekend in afbeelding 3-2. De digitaal naar analoog omzetter werkt met de al eerder toegepaste DAC van het type ZN428E. Hoe dit IC kan communiceren met een computer werd in hoofdstuk 1 al uitvoerig behandeld.

Het enige verschil is dat nu alle PB-signalen van de poort worden gebruikt om de volle resolutie van het systeem uit te buiten.

De uitgang van de DAC op pen 5 is verbonden met een derde orde filter, op de klassieke manier opgebouwd uit enige RC-netwerken en een operationele versterker.

Dit filter heeft een steilheid van -18 dB per octaaf en de afsnijfrequentie ligt bij 10 kHz.

Bij de in machinecode te schrijven software kan men als volgt te werk gaan.

Een gedeelte van het RAM-geheugen moet worden gereserveerd voor het opslaan van de digitale codes, die de vorm van de signalen voorstellen.

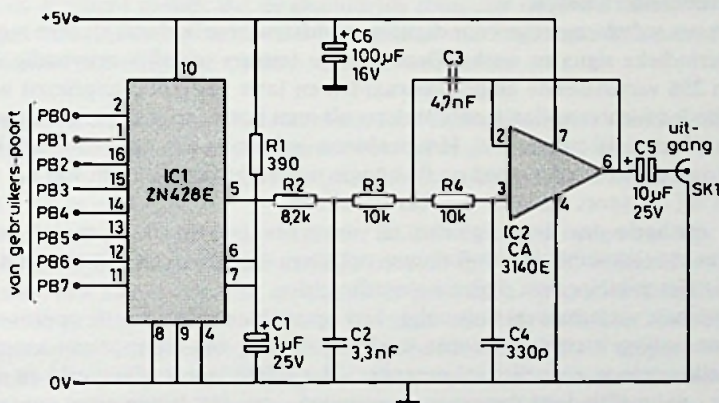
Eenvoudige signaalvormen, zoals driehoeken, blokken, zaagtanden en sinussen kunnen gemakkelijk omgezet worden in een aantal opeenvolgende codes, die de vorm van het signaal beschrijven. Deze codes kunnen vanuit BASIC met POKE in het geheugen worden ingelezen.

Voor een stijgende zaagtand volstaat het bijvoorbeeld achtereenvolgens alle getallen tussen 0 en 255 in het geheugen op te slaan. Een driehoek wordt omschreven door eerst alle getallen tussen 0 en 255 te POKE-en en daarna alle getallen tussen 255 en 0.



Een sinusfunctie is moeilijker, maar omdat alle computers een BASIC SIN-functie kennen kan men eerst de computer zelf 256 waarden van de functie laten berekenen voor het volledige gebied tussen 0 en 360 graden en deze, tot hele getallen afgeronde, waarde daarna POKE-en. Dit laatste kan de computer natuurlijk ook doen.

Het is bij het samenstellen van een "RAM-bibliotheek" van signaaltypes aan te bevelen elk signaal onder te brengen in een geheugenblok van 256 bytes. In sommige gevallen, namelijk als men ingewikkelde signaaltypes moet samenstellen, zal men dan een compromis moeten sluiten tussen deze voorwaarde en de precieze reconstructie van het signaal. In principe ligt het voor de hand een signaal eerst op papier uit te tekenen, de volledige periode op te splitsen in 256 gelijke delen, voor elk deel de waarde te meten en deze getallen in het geheugen onder te brengen. In de praktijk zal men echter rekening moeten houden met tussen de "monsterpunten" liggende positieve of negatieve pieken. Zit er een piek tussen twee meetpunten, dan doet men er verstandig aan de waarde van de piek in te lezen en dus de gelijke verdeling tussen de meetpunten even



Afbeelding 3-2 Een eenvoudige digitaal naar analoge omzetter voor digitale geluidssynthese.

### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 3-2

Weerstanden, 1/4 W:

R1 390 Ω

R2 8,2 kΩ

R3 10 kΩ

R4 10 kΩ

Condensatoren:

C1 1 μF, 25 V

C2 3,3 nF, MKH

C3 4,7 nF, MKH

C4 330 pF, keramisch

C5 10 μF, 25 V

C6 100 μF, 16 V

Geïntegreerde schakelingen:

IC1 ZN 428 E

IC2 CA 3140 E

Diversen:

1 x 8-pens IC-voetje

1 x 16-pens IC-voetje

1 x standaard steker

1 x standaard chassisdeel



te vergeten. Op deze manier is men er zeker van dat het signaal bij reconstructie zo goed mogelijk het origineel volgt. Nadat het gewenste aantal vormen in het geheugen is opgenomen moet men een MC-routine schrijven, die deze waarden een voor een uitleest en aan de poort van de computer aanbiedt. Daarbij moet men er rekening houden dat alle machine-interrupts worden uitgeschakeld, omdat deze interrupts de regelmaat van het inlezen verstoren en tot grote signaalvervalsing kunnen leiden.

Zo'n routine doorloopt de cyclus met een bepaalde, door de snelheid van de processor bepaalde frequentie en het uitgangssignaal heeft dus een vaste periode.

In de meeste gevallen zal men echter prijs stellen op een regelbare frequentie. Hogere frequenties zijn mogelijk door niet alle 256 waarden van één periode te laten uitlezen, maar bijvoorbeeld telkens een waarde over te slaan. Het nadeel is dat de resolutie en de nauwkeurigheid lager worden.

Lagere frequenties kan men programmeren door elke waarde enige malen achter elkaar te laten uitlezen of door NOP-instructies in de routine te verwerken.

### **Digitale recordertechnieken**

De beschreven softwarematige voor digitale geluidssynthese is ideaal als men met regelmatige, periodieke signalen werkt. Deze kunnen immers tamelijk eenvoudig ontleed worden in 256 verschillende amplitudewaarden en later periodiek uitgelezen worden. Deze methode is echter volledig onbruikbaar als men korte, eenmalige, grillig gevormde geluidseffecten wil nabootsen. Het probleem is immers dat men voor het kunnen toepassen van deze techniek goed op de hoogte moet zijn van de vorm van het signaal en dat zal bij dit soort signalen niet het geval zijn.

De enige methode om deze signalen te verwerken is gebruik te maken van het rechtstreeks via elektronische schakelingen omzetten van het signaal in een aantal digitale codes. Het principe van digitale recording, dus.

Het meest ideale systeem werkt als volgt. Het op te slaan effect wordt opgenomen op een gewone analoge recorder. Daarna wordt de uitgang van dit apparaat aangesloten op een snelle analoog naar digitaal omzetter. Het geluid wordt afgespeeld en door de schakeling - natuurlijk door de computer gestuurd - omgezet in een groot aantal codes die een voor een in het RAM-geheugen van de computer worden ingelezen. Deze codes kunnen later op de reeds bekende manier weer uit het geheugen worden uitgelezen en via de reeds besproken digitaal naar analoog omzetter met filter aan een geluidsinstallatie worden aangeboden.

Dit systeem heeft één groot nadeel en dat is dat er in het geheugen van een gemiddelde huiscomputer slechts plaats is voor 1 á 2 seconde geluid.

Om geheugen te besparen is het mogelijk slechts het begin van het geluid te registreren, stel de eerste 100 milliseconde, en dit geluid vervolgens cyclisch weer te geven. Het natuurlijke uitsterven van het geluid moet dan worden nagebootst door het inschakelen van een enveloppegenerator. dit systeem is niet zo natuurgetrouw, maar het enige bruikbare bij goedkope computers met niet meer dan 64 kB geheugen.

De laatste toepassing van een digitale recorder is signaalvertraging. bij dit systeem wordt een bepaald geheugenblok cyclisch in- en uitgelezen. Eerst wordt het blok volgeschreven met geluid. Als het laatste RAM-adres vol zit springt de computer terug naar het eerste adres. Dit adres wordt eerst uitgelezen en de binaire code wordt met een DAC omgezet in geluid. Daarna wordt het adres weer ingelezen. Door deze procedure voor alle adressen te herhalen ontstaat een geluidsvertrager. De momentele grootte van het signaal, opgeslagen in een bepaald adres, wordt immers een bepaalde tijd later uit-

gelezen. De lengte van dit interval is afhankelijk van het aantal adressen dat men gebruikt en van de snelheid waarmee de adressen worden in- en uitgelezen.

In de meeste gevallen is het mogelijk een vertraging van meer dan een seconde te verkrijgen bij een bandbreedte van 10 kHz. Zo'n vertrager werkt dan als echte kunstmatige echo en als men de vertraagde ingang mengt met het originele signaal en dit mengproduct weer inleest kan men veelvoudige echo nabootsen.

Al deze toepassingen staan of vallen met het gebruik van een goede en snelle analoog naar digitaal omzetter. Nu stelt een algemene wet dat bij dit soort toepassingen de frequentie waarmee een analoog signaal wordt omgezet in een digitale code minstens twee maal hoger moet zijn dan de maximale frequentie die in het signaal aanwezig is.

Voldoet men niet aan dit zogenoemde sampling-theorema, dan is het niet meer mogelijk de vorm van het originele signaal terug te winnen uit de digitale informatie.

Dit stelt enige praktische beperkingen aan het systeem. Om voldoende informatie in het geheugen kwijt te kunnen kan men niet sneller inlezen dan met 20 kHz. De bandbreedte van hetingangssignaal moet dus begrensd worden tot 10 kHz. Met deze beperkingen en er vanuit gaande dat de gemiddelde computer ongeveer 20 tot 30 kB RAM-geheugen ter beschikking heeft voor het opslaan van informatie kan men dus 1 á 1,5 seconde informatie digitaal opslaan en weer weergeven.

Een praktische schakeling van een analoog naar digitaal omzetter voor het digitaliseren van geluiden - men noemt zo'n apparaat ook wel eens een audio digitizer - is dus opgebouwd uit een ingangsfILTER met laagdoorlaat-karakteristiek en een afsnijfrequentie van 10 kHz en een ADC.

De ADC die gebruikt is in de klavierlezer, de ZN449, is in principe met zijn maximale snelheid van 100 kHz uitstekend geschikt voor dit doel. Dit IC biedt echter geen optimale lineairiteit als wij alle acht de bits willen gebruiken. Deze niet-lineairiteit uit zich in vervormingen van het signaal. Wie er veel geld voor over heeft kan beter de duurdere en veel meer lineair werkende, maar voor de rest identieke ZN447 toepassen. Wie toch wel opziet tegen de hogere kostprijs van dit onderdeel kan als compromis de ZN448 inzetten, die een redelijke lineairiteit paart aan een redelijke prijs.

Het schema van de digitizer is getekend in afbeelding 3-3. De schakeling rond de ADC IC1 is ongeveer gelijk aan de schakeling die beschreven is bij de klavierlezer. Maar nu worden alle acht de uitgangen gebruikt en dus moeten alle PB-lijnen als ingang gedefinieerd worden. Er moet nu dus een andere methode worden gevonden voor het genereren van de startpuls.

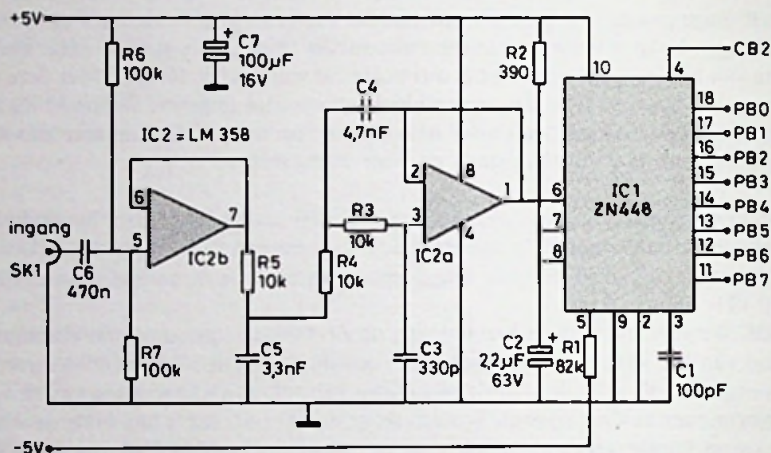
Bij de BBC model B en de VIC-20 kan men bijvoorbeeld poortlijn CB-2 voor dit doel gebruiken. Deze lijn kan namelijk zo worden gedefinieerd dat er een korte negatieve puls op ontstaat als men data naar de poort stuurt.

Men kan dus een startpuls aan pen 4 van het IC aanbieden door een willekeurige waarde naar de gebruikerspoort te sturen. De CB-2 lijn kan in de gewenste modus worden gezet door een decimale waarde van 160 te POKE-en in het perifere controleregister op adres &FE6C bij de BBC machines en adres 37148 bij de VIC-20

De Commodore 64 heeft geen CB-2 lijn op de gebruikerspoort, maar beschikt over een PC-2 lijn. Op deze lijn verschijnt een korte negatieve puls na elke schrijf- of leesinstructie naar of van de gebruikerspoort. Deze methode is zeer bruikbaar, omdat deze lijn nu gebruikt kan worden voor het automatisch genereren van een startpuls na het uitlezen van de omzetter.



Als men het systeem wil gebruiken als elektronische vertrager dan zal men de opname- en weergaveschakelingen tegelijkertijd op de computer moeten aansluiten. Men kan dan natuurlijk niet beide systemen gewoon parallel schakelen op de bus. De meest voor de hand liggende oplossing voor dit probleem is het verbinden van het weergavesysteem met de printerpoort en het aansluiten van het opneemgedeelte op de bus.



**Afbeelding 3-3 Een analoog naar digitaal omzetter voor het digitaliseren van audio signalen.**

**1 x standaard chassisdeel**

Bij de machines die niet over beide poorten beschikken zal men minstens een van de schakelingen via een extra interface op de computer moeten aansluiten. Heeft het systeem de beschikking over een tot nu toe ongebruikte digitale ingang, dan kan men deze gebruiken voor het detecteren van de "einde omzetting"-puls van het IC. Maar het is uiteraard ook mogelijk een aantal NO OPERATION instructies in de software op te nemen, waardoor een vertraging wordt ingebouwd en wordt voorkomen dat de omzetter te snel wordt uitgelezen.

De weerstand R1 uit het schema van afbeelding 3-3 wordt gevoed uit een negatieve spanning van -5 volt. Men kan deze op de reeds eerder beschreven manier afleiden uit de standaard +5 volt voeding. Als de computer echter een interne negatieve voeding heeft moet men deze gebruiken, omdat bij toepassing van de eerder beschreven +5 naar -5 volt omzetter de mogelijkheid bestaat dat het signaal van de oscillator wordt doorgekoppeld naar het gevoelige audiosysteem.

Het filter tussen de ingang van de schakeling en de analoge ingang van het IC is in principe identiek aan het filter dat werd gebruikt bij de weergaveschakeling. Omdat men echter niet zeker weet of de schakeling wordt aangesloten op een apparaat met een voldoende lage uitgangsimpedantie, wordt het filter rond IC2a voorafgegaan door een bufferversterker IC2b. Deze heeft geen andere taak dan ervoor te zorgen dat het filter gestuurd wordt uit een schakeling met een constante en zeer lage impedantie.

De schakeling wordt ingesteld door een spanningsdeler R6/R7 aan de ingang, die wordt gevoed uit de referentie-uitgang van het IC. Met deze instelling zal er in rust, dus zonder signaal op de ingang, het binaire equivalent van decimaal 128 op de uitgangen van de omzetter verschijnen. Bij het aansluiten van een signaal zal de spanning op de ingang van de schakeling rond de instelwaarde variëren en zal dus ook de code groter of kleiner worden dan 128, afhankelijk van de polariteit van het signaal op het moment van de omzetting.

De omzetter kan signalen verwerken met een maximale topwaarde van ongeveer 2,55 volt. Het valt aan te bevelen kleinere signalen eerst tot deze waarde te versterken, want hoe breder het uitsturingsbereik van de schakeling, hoe groter de nauwkeurigheid en hoe minder last men heeft van vervormingen en ruis.

## **De software**

De software moet volledig worden aangepast aan de specifieke toepassing van het systeem, de computer en het adresseerbaar gebied van het geheugen.

Het zal uiteraard noodzakelijk zijn een START-functie in te bouwen, men zou bijvoorbeeld een wachtlus kunnen schrijven, die de computer continu doorloopt tot men op een bepaalde toets van het toetsenbord drukt. Een heel mooi systeem in een AUTO-TRIGGER start, waarbij de computer automatisch start met het verwerken van het geluid als het signaal aan de analoge ingang van de schakeling wordt aangeboden.

Daarnaast moet men een teller programmeren, die het aantal gevulde adressen telt en het programma stopt als het volledige RAM-gebied is volgeschreven. Afhankelijk van het soort processor kan men daarvoor een 16 bit register van de CPU zelf inschakelen of twee RAM-adressen.

Het weergaveprogramma zal maar op een paar detailpunten afwijken van het opneemprogramma. Natuurlijk moet er dan niet naar RAM geschreven worden, maar uit RAM gelezen. De manier waarop men de geheugenplaatsen adresseert is echter identiek. Bovendien is het niet noodzakelijk START-pulsen te genereren. Waar men wel



goed op moet letten is dat de snelheid van het doorlopen van een leeslus precies gelijk is aan de snelheid van een schrijflus. Is dat niet het geval, dan ontstaat er een toonhoogteverschil bij het weergeven van het geluid. Als het inlezen te snel gaat kan men een aantal NOP-instructies in het programma verweven, maar men mag de inleesprocedure niet te veel vertragen omdat de kwaliteit van het signaal duidelijk merkbaar afneemt als men met een te trage herhalingsfrequentie bemonstert.

Wil men het systeem toepassen als digitale echo, dan moet de software elke RAM-adres eerst uitlezen en onmiddellijk daarna met nieuwe informatie vullen. Het totale programma moet zichzelf bovendien continu herhalen. Ideaal zou het zijn als de tijd die nodig is om van het einde naar het begin te springen precies gelijk is aan de tijd die de software nodig heeft om van een adres naar het volgende te springen. De lengte van de vertraging is instelbaar door het aantal RAM-adressen te variëren. Er bestaat nog een tweede, zeer elegante, maar tamelijk moeilijk te realiseren manier om de vertraging in te stellen. Men kan het adres dat men uitleest leggen. De vertraging tussen in- en uitlezen en dus de echo wordt bepaald door de afstand (uitgedrukt in aantal adressen) tussen het inlees- en het uitleespunt. Deze methode is echter zo moeilijk te programmeren dat het gevaar bestaat dat het hele systeem veel te traag gaat werken.

Bij enkele computers met de Z80 als processor, zoals de Spectrum en de Schneider CPC464, doet zich een klein probleem voor. De computers gebruiken namelijk niet de acht LSB's voor de adressen van de in- en uitgangen, maar alle 16 bits. Men gebruikt dan het B-register van de CPU voor het opslaan van de 8 MSB's, daardoor is dit register dus onbruikbaar voor onze adressen.

Programma 3-1 geeft het geraamte van een universele vertrageringsroutine voor Z80 computers, die onafhankelijk is van de manier waarop de in- en uitgangslijnen geprogrammeerd worden.

```
DI
LD DE, 1
LD BC, poortadres
LD HL, adres van eerste RAM-locatie
LD IY,$FFFF - aantal bytes van RAM-blok
KD A,(HL)
OUT (C),A
INI
ADD IY,DE
JP C, start adres + 4 (decimaal)
NOP
NOP
NOP
NOP
JP NC, start adres + 14 (decimaal)
```

Programma 3-1 Machine routine voor Z80 computers voor het besturen van het digitale opname/weergave systeem.

De eerste instructie schakelt de interrupts uit. Dit is noodzakelijk omdat interrupts ongewenste modulatie van het geluidssignaal veroorzaken. Daarna wordt het registerpaar DE geladen met 1 en het BC-paar met het adres van de in/uit-poort. Het HL-paar wordt ingeschakeld voor het registreren van het eerste adres van de geheugenbank. Het IY-paar dient voor het tellen van het aantal adressen. In dit register wordt de lengte van het RAM-gebied genoteerd als het verschil tussen HEX FFFF (decimaal 65535) en het aantal bruikbare adressen. Natuurlijk moet men er voor zorgen dat het RAM-gebied dat voor het opslaan van de geluidsmonsters wordt gebruikt geen voor een andere toepassing gebruikt gedeelte van het geheugen overlapt. Verder moet men er rekening mee houden dat het programma natuurlijk ook een bepaald aantal adressen nodig heeft.

De volgende instructie laadt de accumulator met de inhoud van het HL-paar, dus met het startadres van het RAM-gebied. Daarna wordt de waarde van dit adres overgebracht naar de uitgangspoort. Vervolgens worden de gegevens van de ingangspoort, geadresseerd door het BC-paar, overgebracht naar het adres waarvan het nummer in het HL-paar is opgeslagen.

Er is nu een lees/schrijfcyclus doorlopen en het volstaat dus alle waarden te verhogen of te verlagen.

Op de eerste plaats wordt het HL-paar met 1 vermeerderd en het B-register met 1 verlaagd. Dan wordt de in het DE-paar opgeslagen waarde, 1, opgesteld bij de inhoud van het IY-paar. Er wordt gecontroleerd of dit register de volledige cyclus doorlopen heeft. Is dit het geval, dan wordt de carry-vlag geset en het programma springt terug naar het punt waar het BC-paar wordt geladen met het adres van de in/uit poort.

Deze actie is noodzakelijk, omdat de INI-instructie de inhoud van het B-register kan aantasten. Zoals reeds gezegd is dit afhankelijk van het soort computer.

Als de carry-vlag niet werd geset, omdat het volledige geheugen nog niet was doorlopen, dan worden er eerst een aantal NOP- instructies doorlopen. Deze zijn tussengevoegd om de sampling-snelheid te verlagen tot een praktisch bruikbare waarde en om de lustijd van adres naar adres en van einde naar start aan elkaar gelijk te maken. Daarna springt het programma terug naar de LD A, (HL) instructie. De inhoud van het HL-paar was inmiddels automatisch verhoogd door de INI-instructie en de lus wordt dus herhaald voor het volgende RAM-adres, dat wordt uitgelezen en later weer ingelezen.

Er is geen RET-instructie in het programma opgenomen, omdat dit volstrekt zinloos is. Door de lusstructuur zou deze instructie toch nooit bereikt worden. De enige manier om het programma te onderbreken is het bedienen van de RESET-knop. Dit programma gaat er van uit dat de in- en de uitgangspoort hetzelfde adres hebben. Is dat niet het geval, dan moet men een LD BC, \*\*\*\* instructie tussenvoegen tussen de OUT- en de INI-instructies, waardoor wordt omgeschakeld naar het juiste adres.

Dit programma demonstreert de basisprincipes voor het achter elkaar uit- en inlezen van een gedeelte van het RAM-geheugen. Natuurlijk is deze routine alleen bruikbaar bij computers die werken met een Z80 als processor en bij rechtstreekse vertragingstoepassingen.

Maar wie de basisprincipes uit dit programma kan afleiden, zal geen moeite hebben met het vertalen van de software naar een andere processor of het aanpassen van de routine aan de eigen specifieke toepassing.

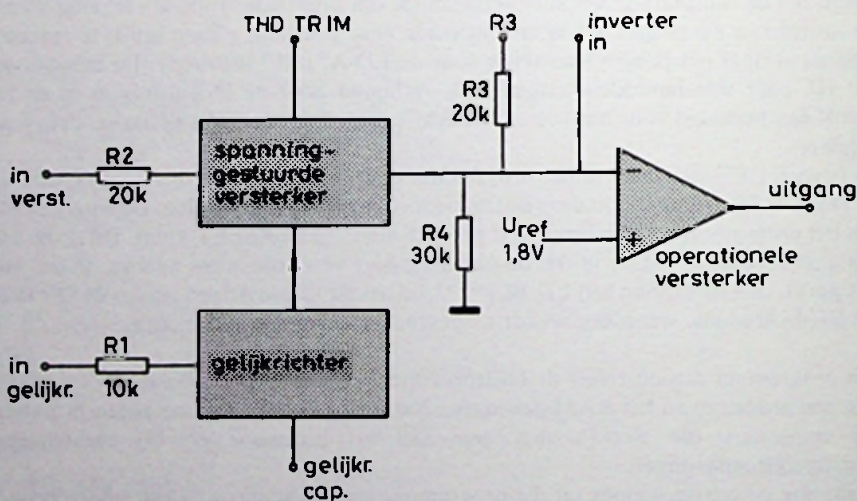


## Compander

Hoewel de beschreven schakelingen vrij aardige resultaten opleveren voor wat betreft de nauwkeurigheid van de omzetting en vervorming, zijn zij in de praktijk voor een heleboel toepassingen zo goed als onbruikbaar. Het eenvoudige systeem heeft namelijk een ontoelaatbaar hoog ruisniveau en hoewel er best wel toepassingen te bedenken zijn waarbij een signaalruis verhouding van 46 dB wel acceptabel is, voldoet deze lage waarde in geen geval voor het echte audiowerk. Gelukkig is het zonder al te veel toeren mogelijk om deze waarde te verhogen tot niet minder dan 80 dB. Het toverwoord is "companding", een samentrekking van de woorden "comprimeren" en "expanderen".

Het probleem van de ruis ontstaat in feite door de dynamiek van het geluid. In geluid of muziek zijn luide en stille passages. de schakeling moet zo worden ingesteld dat de luide gedeelten de omzetter niet oversturen. Het gevolg is dat de signaalamplitude tijdens de stille passages tamelijk klein is en de omzetter deze kleine volumeverschillen op een erg grove manier digitaliseert. Bij de later weer "analogiseren" van de digitale codes blijft er erg weinig over van het originele signaal. Dit uit zich in ruis, ruis die bovendien nauwelijks uit het signaal te filteren is door gebruik te maken van laagdoorlaatfilters.

Bij de compandingstechniek wordt het analoge signaal eerst op een bepaalde manier bewerkt. Het verschil tussen de amplitude bij luide passages en bij zachte passages wordt kunstmatig verkleind door de versterking afhankelijk te maken van de grootte van het signaal. Men noemt dit het comprimeren van het signaal, in de praktijk komt het er op neer dat men de amplitude van de luide passages ongemoeid laat maar de amplitude van de zachte passages gaat vergroten. Het logische gevolg is dat de dynamiek van het signaal kleiner wordt, omdat de zachte passages veel te luid klinken. Het voordeel is echter dat dit deel van het signaal nu met een redelijk grote resolutie gedigitaliseerd kan worden.



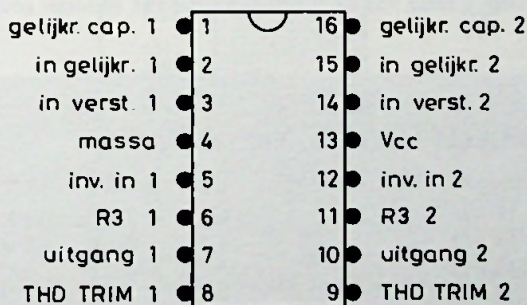
Afbeelding 3-4 Intern blokschema van een van de schakelingen in de compander-IC's NE570 of NE571.

Om de originele dynamiek van het signaal terug te winnen moet men ook bij de "ontvangstzijde" een kunstgreep uithalen. Na de digitaal naar analoog omzetter wordt een zogenoemde expander opgenomen, die precies het tegengestelde doet van de compressor. De te luide stille passages worden weer verzwakt, de amplitude van de luide passages wordt niet aangetast. De dynamiek van het signaal wordt dus hersteld, maar bovendien zal de quantiseringsruis die eigen is aan elke ADC-DAC bewerking, verkleind worden. Deze ruis heeft immers een kleine amplitude en de expander zal deze amplitude kunstmatig verlagen. De schakeling ziet immers geen verschil tussen een klein signaal veroorzaakt door de quantiseringsruis en een klein signaal van de analoge informatie.

Tot voor kort was het erg moeilijk zelf expanders en compressors te bouwen, dat zijn immers niet de meest eenvoudige elektronische schakelingen. Gelukkig is dat op dit moment heel wat gemakkelijker, omdat er een aantal analoge IC's zijn ontwikkeld die volledige companderschakelingen bevatten. Bekende compander-IC's zijn de NE571 en de NE570, die volledig identiek zijn en alleen onderling verschillen in de specificaties. De NE570 is iets beter dan de NE571 en bijgevolg ook iets duurder. Beide IC's bevatten, volledig van elkaar gescheiden, een compleet compressor- en een compleet expandercircuit.

Vreemd genoeg zijn de schakelingen van de expander en de compressor identiek, verschillen zien we alleen in de manier waarop de verschillende basisblokken van het schema met elkaar en de externe onderdelen zijn verbonden.

Het blokschema van een van beide schakelingen is getekend in afbeelding 3-4 en is samengesteld uit een nauwkeurige gelijkrichter, een spanningsgestuurde versterker, een operationele versterker en een referentiebron die zorgt dat de schakelingen op de juiste manier worden ingesteld. De aansluitgegevens van het IC zijn getekend in afbeelding 3-5.

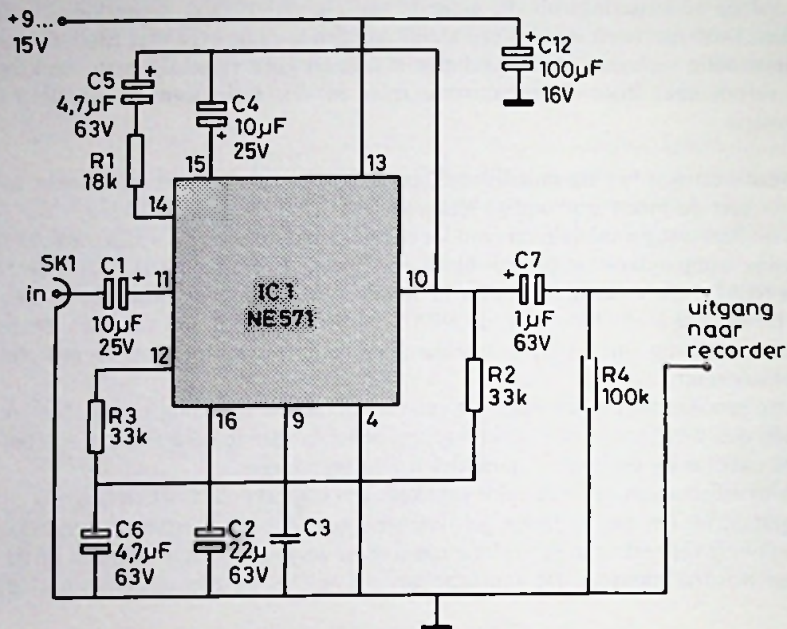


Afbeelding 3-5 Aansluitgegevens van de in onze schakeling toegepaste compander-IC's.

Het praktische schema van de compressor zien we in afbeelding 3-6 weergegeven. De spanningsgestuurde versterker wordt opgenomen in de terugkoppellus van de operationele versterker. Deze laatste schakeling staat geschakeld tussen de in- en uitgang. De gelijkrichter wordt gebruikt voor het gelijkrichten van het signaal en de afgevlakte spanning wordt gebruikt voor het besturen van de spanningsgestuurde versterker. Bij kleine signaalamplituden is de uitgangsspanning en dus de stuurspanning van de VCA



klein. Deze schakeling zal minimaal versterken en omdat deze schakeling in de terugkoppeling van de operationele versterker is opgenomen zal de totale signaalversterking tussen in- en uitgang groot zijn. Naarmate de amplitude van het ingangssignaal stijgt, zal de stuurspanning voor de VCO toenemen. De versterkingsfactor van deze schake-



Afbeelding 3-6 Praktisch schema van de compressorsectie van de totale companderschakeling.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 3-6 en 3-7

Weerstanden, 1/4 W:

R1 18 kΩ

R2 33 kΩ

R3 33 kΩ

R4 100 kΩ

R5 1 kΩ

R6 100 kΩ

Condensatoren:

C1 10 μF, 25 V

C2 2,2 μF, 63 V

C3 100 nF, MKH

C4 10 μF, 25 V

C5 4,7 μF, 63 V

C6 4,7 μF, 63 V

C7 1 μF, 63 V

C8 4,7 μF, 63 V

C9 4,7 μF, 63 V

C10 2,2 μF, 63 V

C11 10 μF, 25 V

C12 100 μF, 16 V

Geïntegreerde schakeling:

IC1 NE 571 of NE 570

Diversen:

1 x 16-pens IC-voetje

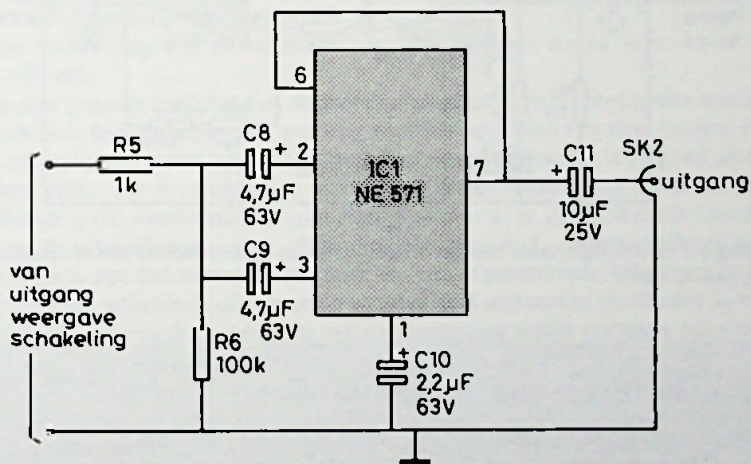
ling neemt toe en dus zal de terugkoppeling van de opamp stijgen. De versterking neemt af.

Het gevolg is dus dat kleine signalen aan de ingang flink versterkt op de uitgang verschijnen en grote signalen nauwelijks versterkt worden. De dynamiek van het signaal verkleint, het signaal wordt gecomprimeerd of samengedrukt.

Het praktische schema van de expander is getekend in afbeelding 3-7. Nu wordt de spanningsgestuurde versterker rechtstreeks tussen de in- en uitgang opgenomen en wordt de operationele versterker gebruikt als buffer. Ook nu wordt het ingangssignaal gelijkgericht door de interne gelijkrichter en stuurt de afgevlakte uitgangsspanning van deze trap de VCA. Bij kleine signalen zal de stuurspanning van de VCA klein zijn en dus ook de versterking. Voor grote signalen levert deze schakeling een grote versterking. De werking van de compressor wordt dus tegengewerkt, de dynamiek van het signaal neemt weer toe.

De NE570 en NE571 moeten gevoed worden uit een spanning van minimaal +6 volt, hetgeen tot gevolg heeft dat een externe voeding moet worden ingeschakeld. Men zou bijvoorbeeld een 9 volt batterijtje kunnen gebruiken of een gestabiliseerde hulpvoeding met een uitgangsspanning van +9 tot +15 volt.

De geïntegreerde schakelingen hebben een 2/1 werking, wat in principe zou betekenen dat de basis signaal tot ruis verhouding van de omzetter met een factor twee wordt verbeterd, dus van ongeveer 46 naar ongeveer 92 dB zou stijgen.



Afbeelding 3-7 Praktisch schema van de expander.

In de praktijk blijkt echter dat deze waarde niet gehaald wordt en dat wij ons tevreden moeten stellen met een verhouding van rond de 80 dB, hetgeen overigens uitstekend te noemen is. Zelfs de beste stereo-FM ontvangers halen bij lange na niet een dergelijke hoge signaal ruis verhouding.

### Microfoon voorversterker

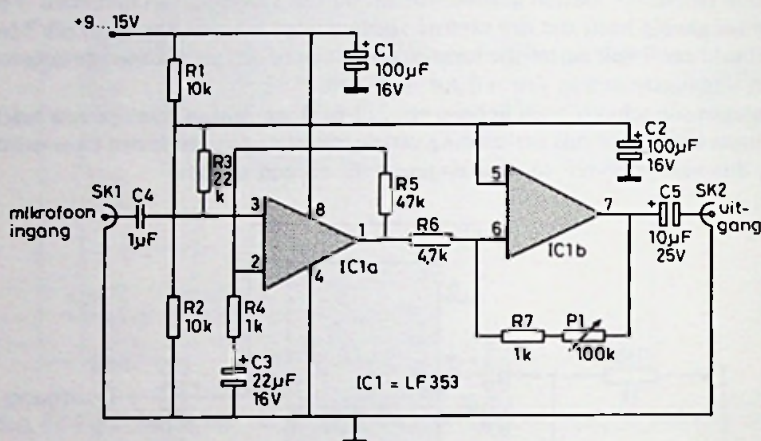
Vaak zal men natuurlijke geluiden via een microfoon willen registreren en door de digitale recorder laten verwerken. Het is dan zonder meer noodzakelijk een gevoelige ver-



sterker in te schakelen, omdat microfoons een veel te laag signaal leveren. De uitgangsspanning van goede hoogimpedante microfoons bedraagt meestal slechts enkele millivolt's en is gemiddeld genomen ongeveer 1 millivolt. Dit komt overeen met een top tot top waarde van 2,5 millivolt, terwijl de ADC gestuurd moet worden met een signaal van maximaal 2,55 volt top tot top. Het signaal van de microfoon moet dus 1000 maal of met een factor van 60 dB versterkt worden.

Dit is heel wat, maar gelukkig kunnen wij dank zij de moderne ruisarme speciale operationele versterkers dit probleem toch elegant en zonder al te veel moeite oplossen. Afbeelding 3-8 geeft het schema van een universele twee-traps microfoonversterker met een maximale spanningsversterking van ongeveer 60 dB.

De schakeling is samengesteld rond de speciale dubbele operationele versterker van het type LF353. Dit is een volgens de JFET-technologie gefabriceerde versterker, die spe-



Afbeelding 3-8 Eenvoudige, maar zeer gevoelige microfoon voorversterker met een maximale versterking van 60 dB.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 3-8

##### Weerstanden, 1/4 W:

R1 10 kΩ  
R2 10 kΩ  
R3 22 kΩ  
R4 1 kΩ  
R5 47 kΩ  
R6 4,7 kΩ  
R7 1 kΩ

##### Condensatoren:

C1 100 µF, 16 V

C2 100 µF, 16 V

C3 22 µF, 16 V

C4 1 µF, polyester

C5 10 µF, 25 V

##### Geïntegreerde schakeling:

IC1 LF 353 of TL 072

##### Diversen:

2 x 3,5 mm audiostekers

2 x 3,5 mm audio-chassisdelen

1 x 8-pens IC-voetje

ciaal is ontwikkeld voor gebruik in gevoelige laagfrequent schakelingen en een zeer lage eigen ruis heeft.

De schakeling is bruikbaar voor alle soorten microfoons die een hoge uitgangsimpedantie hebben, maar kan ook worden toegepast bij elektretmicrofoons met ingebouwde impedantietransformator.

De eerste versterker is geschakeld als niet-inverterende versterker met een versterking van 48 (= 34 dB). De weerstanden R1 en R2 vormen een spanningsdeler tussen de massa en de voeding, op het knooppunt staat de instelspanning voor de volledige schakeling. De niet-inverterende ingang van IC1a is via R3 op deze biasspanning aangesloten en opdat het knooppunt van R1 en R2 door middel van een grote elco ontkoppeld is, is de waarde van R3 gelijk aan de grootte van de ingangsimpedantie van de schakeling. De microfoon wordt via een scheidingscondensator C4 op de niet-inverterende ingang aangesloten. De versterking van deze eerste trap wordt bepaald door de verhouding van de terugkoppelweerstand R4 en R5.

De ingang van de tweede trap is rechtstreeks gekoppeld aan de uitgang van de eerste versterker. Deze trap is geschakeld als inverterende versterker, het signaal wordt dus aangeboden aan de inverterende ingang van de opamp. De niet-inverterende ingang gaat rechtstreeks naar het biaspunt R1/R2. De versterking van deze tweede trap is regelbaar door de terugkoppelfactor te variëren. Deze terugkoppeling bestaat uit de vaste weerstanden R6 en R7 en de instelpotentiometer P1. Door het verdraaien van de loper kan men de versterking instellen tussen 14 en 26 dB.

De totale versterking van de schakeling is dus regelbaar tussen  $34 + 14 = 48$  dB en  $34 + 26 = 60$  dB.

Door de zeer grote gevoeligheid en de grote bandbreedte van de toegepaste operationele versterkers is de schakeling zeer gevoelig voor het oppikken van stoorpulsen. Nu zijn computers en aanverwante apparaten ideale stoorbronnen en het is zo goed als onmogelijk deze versterker te combineren met snelle digitale schakelingen. Vandaar dat het noodzakelijk is de voorversterker volledig in te bouwen in een isolerende metalen behuizing en de schakeling te voeden uit een in deze behuizing opgenomen 9 volt batterij. Het zal logisch zijn dat men de microfoon via een afgeschermd kabel met de ingang moet verbinden, waarbij de afscherming van de kabel verbonden wordt met de negatieve pool (de massa) van de batterij. De metalen behuizing wordt eveneens met deze pool verbonden.

## Echo

De digitale recorder kan gebruikt worden voor het genereren van echo. De ingang van de schakeling moet dan voorzien worden van een eenvoudige menger. Een ingang van deze menger wordt aangesloten op de signaalbron, de tweede ingang wordt gevoed uit de analoge uitgang van het vertragend systeem. Door de grootte van deze teruggekoppelde spanning te variëren kan men de mate van echo instellen. Als men teveel signaal terugkoppelt zal de echo echter niet uitsterven maar in amplitude toenemen, waardoor het systeem onstabiel wordt en gaat oscilleren.

Men kan de in het vorige hoofdstuk in afbeelding 2-8 beschreven mengschakeling voor dit echo-systeem toepassen.



## Hoofdstuk 4

---

# Basisbegrippen van MIDI

### Inleiding

De ontwikkeling die de wereld van de elektronische muziekreproductie waarschijnlijk het meest geschokt heeft is de invoering van de MIDI-standaard.

Het basisprincipe van MIDI is even voor de hand liggend als eenvoudig: ontwikkel een systeem waardoor het mogelijk wordt twee willekeurige elektronische muziekinstrumenten op zodanige manier met elkaar te verbinden dat zij als het ware één instrument vormen.

De MIDI-standaard biedt zelfs de mogelijkheid meer dan twee instrumenten met elkaar te koppelen en het gehele systeem te bespelen als een zeer gecompliceerd apparaat. Zoals in de vorige hoofdstukken beschreven is het principe van het onderling koppelen van muziekinstrumenten zeer zeker niet nieuw te noemen. Met de oude systemen moest men echter steeds maar afwachten of instrument X van fabrikant Y zonder problemen verbonden kon worden worden met instrument A van fabrikant B. Soms was dat zonder problemen mogelijk, soms kon dat alleen als men een of andere interface tussenschakelde. Het unieke aan MIDI is nu echter dat het een universele wereldstandaard is. Elk met MIDI uitgerust apparaat kan zonder problemen met elk ander van MIDI voorzien instrument worden gekoppeld.

Een tweede voordeel is dat MIDI niet alleen vrij eenvoudige informatie, zoals gatesignalen en CV-spanningen voor de toonopwekking kan doorkoppelen. MIDI laat bijvoorbeeld ook toe informatie over hoe hard een toets wordt ingedrukt van het ene naar het andere apparaat te verzenden.

En wat deze standaard helemaal uniek maakt, is dat eenvoudige apparaten met ingewikkelde verbonden kunnen worden. Alle gegevens, die het eenvoudige apparaat "niet verstaat" worden gewoon genegeerd. Het eenvoudige apparaat zal alleen reageren op gatepulsen en CV-spanningen.

Op deze manier is het dus bijvoorbeeld mogelijk een zeer dure synthesizer met drukgevoelig toetsenbord te combineren met een zelfgebouwd eenvoudig elektronisch drumstel, natuurlijk in de veronderstelling dat beide apparaten van een MIDI aansluiting zijn voorzien.

Tot slot van deze inleiding een misschien niet overbodige informatie: MIDI is een letterwoord en is de afkorting van Musical Instrument Digital Interface, een Engelse benaming die zo duidelijk is dat een vertaling overbodig is.

### MIDI en computers

Midi zou niet in dit boek thuis horen als het onmogelijk was deze standaard te gebruiken voor het interfaceren van een computer met een of meerdere muziekinstrumenten. De meeste computers kunnen op een tamelijk eenvoudige manier aangepast worden aan de MIDI-standaard. Men zou zelfs kunnen beweren dat de mogelijkheden van MIDI eerst volledig tot hun recht komen als er een computer wordt ingeschakeld. Zo is het bijvoorbeeld dank zij MIDI mogelijk een computer te koppelen aan een poly-

fone synthesizer en een percussie-instrument en alle muzikale mogelijkheden van deze combinatie via een composerprogramma aan te spreken.

Hoewel er tegenwoordig een aantal huis-computers op de markt zijn die over een indrukwekkende geluidengenerator beschikken, vallen de mogelijkheden van dit IC in het niet vergeleken met dat wat mogelijk is met de beschreven combinatie van apparatuur. Met een eenvoudige computer, een geschikt programma, een synthesizer en een elektronisch drumstel beschikt men in feite over een privé orkest.

Als men er bovendien rekening mee houdt dat de prijs van elektronische muziekinstrumenten even snel daalt als deze van computers zal duidelijk worden dat op dit moment voor een redelijke investering muzikale mogelijkheden ter beschikking staan die pakweg tien jaar geleden alleen voor de professionele studio's waren weggelegd.

### Seriële gegevens

Hoewel het in principe zeer wel mogelijk is MIDI-apparatuur aan elkaar te knopen zonder ook maar iets te begrijpen van de manier waarop het systeem werkt, is dat voor de nabouwer natuurlijk een volstrekt onbevredigende gang van zaken. Het is dus noodzakelijk in het kort in te gaan op de principes die aan MIDI ten grondslag liggen. Alleen op deze manier is het mogelijk het systeem volledig aan te passen aan individuele wensen en behoeftes.

Een van de fundamentele verschillen tussen de tot nu toe behandelde gate- en CV-interfaces en MIDI is dat het laatste systeem volledig digitaal werkt. Overdracht van gegevens vindt plaats in de vorm van binaire codes, die de getallen 0 tot en met 255 voorstellen. Deze codes worden in de instrumenten gedecodeerd en omgezet in bruikbare informatie voor het besturen van de interne elektronische schakelingen.

Zo'n digitale gegevensoverdracht van getallen tussen 0 en 255 klinkt ons niet onbekend in de oren. Diverse in de vorige hoofdstukken beschreven projecten deden immers precies hetzelfde. Het grote verschil is echter dat bij deze projecten de digitale codes tegelijkertijd over 6 tot 8 lijnen werden verstuurd en dat MIDI gebruikt maakt van een seriële overdracht over één lijn. De MIDI-standaard valt te vergelijken met de bekende RS232C en RS423 seriële interfaces, die in de computertechniek worden toegepast voor het aansturen van sommige printers en voor de beeldomzetting bij Viditel.

De acht data-bits die een woord vormen, worden achter elkaar over één lijn verzonden. Dit systeem heeft voor- en nadelen, vergeleken met de parallel overdracht. Het grote voordeel is dat er veel minder bedrading nodig is tussen de verschillende apparaten. Dat is dan ook de voornaamste reden die de ontwerpers van MIDI in overweging hebben genomen toen zij besloten serieel te werken.

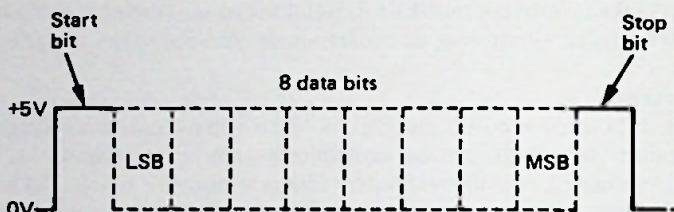
Uiteraard moeten er bij serieel transport enige afspraken worden gemaakt. De eerste afspraak is dat het minst belangrijke bit van de acht, het LSB, het eerst op de lijn wordt gezet. Dan volgt het op één na minst belangrijkste bit en zo verder, tot als laatste het meest belangrijke of MSB wordt verzonden.

Zou men niet meer doen dan dit, dan zou geen enkel apparaat de uitgezonden datastroom kunnen interpreteren. Er moet namelijk een of ander soort synchronisatie ontworpen worden, die ervoor zorgt dat alle op het systeem aangesloten apparaten kunnen herkennen wanneer er een nieuw woord wordt verstuurd. Men zou natuurlijk een tweede lijn kunnen inschakelen en op deze lijn een kort pulstje zetten op het moment dat er op de datalijn bijvoorbeeld het LSB wordt uitgezonden. Dit zou echter afbreuk doen aan de eenvoud van de onderlinge MIDI-verbindingen. Vandaar dat men een systeem



heeft ontwikkeld, waarbij deze synchronisatie over dezelfde lijn wordt verzonden als de acht bits van een woord.

Afbeelding 4-1 geeft de samenstelling van een volledig woord bij deze zogenoemde asynchrone seriële datatransmissie. Vóór het LSB wordt een startbit verzonden. Dit bit attendeert de ontvanger erop dat een woord wordt verzonden en dat de lijn met regelmatige tijdsintervallen moet worden afgetast om de waarde van alle acht de bits te registreren. Na het laatste data-bit, het MSB, wordt nog een stop-bit verstuurd om de ontvanger duidelijk te maken dat een volledig woord is verzonden.



Afbeelding 4-1 De samenstelling van één woord volgens de seriële MIDI-standaard.

Een volgende afspraak geldt de snelheid waarmee de in totaal 10 pulsen op de lijn worden gezet. De snelheid wordt aangegeven in aantal bit per seconde en om nu niet steeds deze hele mondvol achter het getal te moeten schrijven heeft men daar een eigen eenheid voor ingevoerd, de Baud of Bd. Internationaal bestaan er een groot aantal gestandaardiseerde snelheden of Baudrates en deze gaan van 50 tot niet minder dan 19200 Bd. De allereerste MIDI-apparaten werkten met de hoogste gestandaardiseerde rate, dus 19200 Bd, maar men vond dat te traag. Vergeet niet dat elk woord uit 10 bits bestaat en dat er bij deze snelheid slechts 1920 woorden per seconde kunnen worden verstuurd. Elk woord neemt dus ongeveer een halve milliseconde in beslag. Bovendien heeft men meer dan één woord nodig om een MIDI-apparaat te programmeren omdat, zoals wij later zullen zien, er zowel informatie over de toonhoogte, de snelheid en het aan te sturen kanaal moet worden verzonden. In het algemeen kan men stellen dat een pakket MIDI-informatie drie bytes in beslag neemt, zodat met de hoogste gestandaardiseerde Baudrate slechts 500 datapakketten per seconde kunnen worden verstuurd.

Nu kan men lang en breed gaan discussiëren over het feit of dat nu voor de meeste muzikale toepassingen wel of niet snel genoeg is. Feit is dat men in een later stadium is overgestapt op een hogere snelheid, zodat nu alle MIDI-apparaten werken met een Baudrate van 31250.

### MIDI en de RS-standaarden

De meeste computers zijn uitgerust met, of kunnen voorzien worden van, een seriële poort, die werkt volgens de RS232C of RS423 standaard. Deze normen lijken erg veel op de MIDI-norm, maar er zijn toch enkele verschillen, zodat het erg onwaarschijnlijk is dat men een computer met seriële uitgang rechtstreeks verstaanbare MIDI-taal kan laten versturen. Het eerste verschil is dat de standaard seriële poorten werken met logische niveaus van + en -12 volt of + en -5 volt. Een "H" (hoog) signaal komt dus overeen met een signaal van +12 volt en een "L" (laag) met een signaal van -12 volt.

MIDI, echter, werkt met de in de computerlogica gangbare signalen van +5 en 0 volt. Een tweede verschil is dat men bij MIDI steeds optische koppelaars toepast om problemen met aardlussen te vermijden. Gewone seriële poorten kennen deze voorziening niet. Nu zou men deze verschillen nog wel tamelijk eenvoudig hardwarematig kunnen oplossen. De + / -12 volt van een seriële, volgens de RS232C norm werkende computer-uitgang zouden vrij eenvoudig optisch geïsoleerd kunnen worden en in één bewerking omgezet in TTL- signalen.

Het grote probleem is echter de niet volgens de normale seriële normen werkende snelheid van MIDI. Geen enkele computer met seriële poort kan ingesteld worden op een snelheid van 31250 Baud. En zou men en er al in slagen de seriële interfaces zo om te bouwen dat deze snelheid wel haalbaar is, dan zou deze poort voor geen enkel ander serieel communicatiemedium meer bruikbaar zijn.

Dat is zonde, want een seriële poort kost veel meer dan een eenvoudige MIDI-interface en het is dus economischer de RS- interface te laten voor wat het is en een extra schakeling te bouwen, speciaal voor MIDI-communicatie.

Daar zijn geen speciale schakelingen voor nodig, want de standaard IC's, die voor RS232 interfaces op de markt zijn, kunnen zonder meer worden opgepoord tot de MIDI-apparaat moet namelijk heel wat meer gegevens ter beschikking hebben dan er in 8 bits passen. Dat heeft te maken met de universele opzet van het systeem.

### **Het volledige MIDI-pakket**

Wij weten nu hoe MIDI gegevens verzendt en ontvangt. Met één acht bits lange byte in seriële vorm op één draad zijn wij echter nog lang niet waar wij wezen willen. Een MIDI-apparaat moet namelijk heel wat meer gegevens ter beschikking hebben dan er in 8 bit passen. Dat heeft te maken met de universele opzet van het systeem.

Alvorens wij ingaan op de precieze samenstelling van een pakket gegevens is het nuttig de opzet van een MIDI werkend muzikaal systeem eens nader te bekijken. De algemene gedachte achter MIDI is dat een aantal instrumenten samen kunnen spelen, waarbij één instrument als het ware de dirigent van het elektronische orkest is. Uiteraard hoeft dat geen muziekinstrument te wezen, men kan ook een computer tot dirigent benoemen. Deze dirigent zendt de MIDI-gegevens uit over één lijn. Alle leden van het "orkest" moeten uiteraard deze gegevens ontvangen.

Vandaar dat de meeste MIDI-apparaten drie connectoren hebben IN, OUT en THRU. Afbeelding 4-2 geeft een schematische weergave van de onderlinge verbinding tussen een "dirigent", de computer en twee "muzikanten", een synthesizer en een drum-machine.

De computer levert de MIDI-gegevens via één lijn aan de synthesizer (OUT naar IN), de synthesizer stuurt gegevens retour naar de computer (OUT naar IN). Deze tweede lijn is niet steeds noodzakelijk.

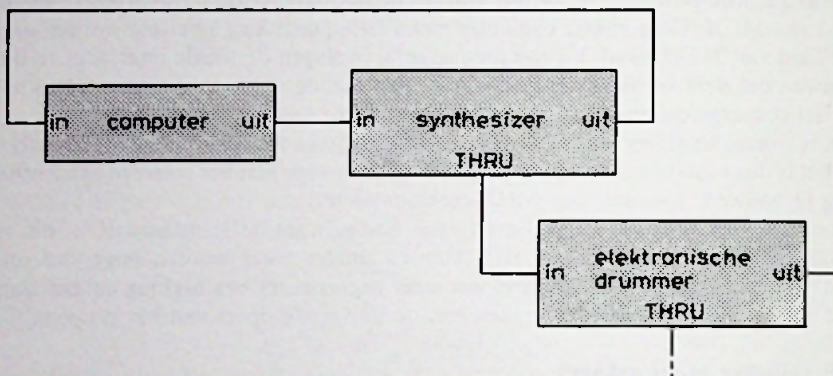
De drummachine wil uiteraard ook meespelen en vandaar dat men de THRU-uitgang van de synthesizer kan aansluiten op de IN van de drummer. De THRU is dus een extra uitgang, die in de meeste gevallen gewoon parallel geschakeld is aan de IN en de gegevens van de IN rechtstreeks doorkoppelen naar een volgend apparaat. MIDI-apparatuur kan dus met elkaar verbonden worden als schakels van een ketting. De "dirigent" stuurt de gegevens naar een apparaat, dit stuurt deze via zijn THRU-uitgang weer naar de IN van het tweede apparaat, en zo verder.

Het volgende probleem is hoe de synthesizer weet wanneer bepaalde gegevens voor



hem bestemd zijn en de drummachine aan het verstand gebracht kan worden dat hij op dat moment niet mag roffelen.

MIDI kent aan de apparaten van een systeem bepaalde kanalen toe. Dat zijn getallen tussen 0 en 15, die overeen komen met de kanalen 1 tot en met 16. Als het de bedoeling is dat de computer een signaal naar de synthesizer stuurt en dit apparaat is afgestemd op kanaal 9, dan moet dus de code 8 verzonden worden.



Afbeelding 4-2 Het aansluiten van twee MIDI-ontvangers op één MIDI-zender.

Sommige apparaten staan vast ingesteld op een bepaald kanaal, maar de meeste moderne schakelingen kunnen, net zoals een TV, op een bepaald kanaal worden afgestemd. Het kanaalnummer, verzonden over de seriële lijn, attendeert in ons voorbeeld de synthesizer op het feit dat hij iets moet gaan doen. Maar wat? Het apparaat moet weten welke noot er gespeeld moet worden en, even belangrijk, hoe lang deze noot aangehouden moet worden.

Dus zendt de computer een "noot-aan"-code uit, gevolgd door een code die informatie geeft over de toonwaarde. Na een bepaalde tijd volgt een "noot-uit"-code en om het apparaat niet in verwarring te brengen wordt de toonwaarde er nog eens aan vast gekoppeld. Dat zijn dus al vijf gegevens: kanaalcode, noot-aan, toonwaarde, noot-uit en nog eens toonwaarde.

Dat zou kunnen volstaan, ware het niet dat men apparaten had ontwikkeld die, net zoals hun mechanische soortgenoten, rekeninghouden met de aanslagsterkte van het toetsenbord. Streelt men een toets zachtjes, dan zal het geluid ook zacht klinken. Ramt men op een toets, dan breekt de muzikale hel los.

Uiteraard is het noodzakelijk dat deze unieke eigenschap ook via MIDI-signalen kan worden geprogrammeerd. Er is dus nog meer informatie nodig, de zogenoemde snelheidscode, die aangeeft hoe hard het geluid moet klinken.

Al deze gegevens worden in twee pakketten van elk drie woorden verstuurd. Eén pakket kondigt de start van een noot aan, het tweede pakket het einde.

Wij zullen nu de samenstelling van deze in totaal zes woorden een voor een gaan bekijken.

### Startpakket, eerste woord:

De vier meest belangrijke bits zijn 1-0-0-1, de code die aangeeft dat er een noot gestart moet worden. De vier minst belangrijke bits vormen het kanaalnummer, 0-0-0-0 voor kanaal 0 tot en met 1-1-1-1 voor kanaal 15.

Als bit byte de samenstelling 1-0-0-1-0-0-1-1 zou hebben, weet de aangesloten apparatuur dat kanaal 4 (0-0-1-1) een noot moet beginnen te spelen. Omdat de meeste computers geen mogelijkheden hebben DATA rechtstreeks in enen en nullen in te geven, moet men de samenstelling van het woord steeds omzetten in decimale vorm. Dat is 143 (noot-aan) plus het kanaalnummer.

### Startpakket, tweede woord:

Dit byte bevat de code van de noot die gespeeld moet worden. Het bereik loopt van decimaal 1 tot en met decimaal 127, de opeenvolgende codes komen overeen met de naast elkaar gelegen halve noten, de referentie-C is decimaal 60.

In principe kan men dus meer dan 10 octaven omvatten en vaak zal blijken dat instrumenten met een veel kleiner klavier via hun MIDI-ingang toch opgepoord kunnen worden tot het spelen van deze tien octaven. Het is dus zeer interessant om te experimenteren, wie weet wat een ongekende mogelijkheden uw synthesizer in zich verbergt.

### Startpakket, derde woord:

Dit geeft de code voor de snelheid, ook een decimaal getal van 1 tot en met 127. Lage codes representeren zachte aanslagen, hoge codes hard. Uiteraard zijn er tal van apparaten op de markt, die deze codes niet kunnen verwerken. Toch moet men ook in deze gevallen dit byte uitzenden, omdat MIDI nu eenmaal drie bytes verwacht en het niet uitzenden van het snelheidswoord het systeem in verwarring brengt.

### Eindpakket, eerste woord

De vier belangrijkste bits zijn nu 1-0-0-0-, de code voor "noot-uit". De vier LSB's vormen weer de binaire code van het kanaalnummer. De decimale waarde van dit byte is gelijk aan 127 plus het kanaalnummer.

### Eindpakket, tweede woord:

Identiek aan het tweede woord van het startpakket.

### Eindpakket, derde woord:

Identiek aan het laatste woord van het startpakket.

Naast deze typisch op een synthesizerbesturing toegesneden pakketvormen kan men talrijke andere parameters van elektronische muziekinstrumenten met MIDI besturen. Een en ander is echter volledig afhankelijk van het soort en merk van apparatuur en dus moeten we hier volstaan met het verwijzen naar de gebruikershandleidingen. Wat wel steeds identiek is, is de samenstelling van het pakket: drie opeenvolgende bytes.

## MIDI-modus

Er bestaan drie modus, of werkingssystemen, voor MIDI-apparatuur. Vroeger werden deze OMNI, POLY en MONO genoemd, maar deze benamingen zijn nu ook door cijfercodes vervangen en wel door respectievelijk 1, 3 en 4.

Apparatuur van de betere klasse is uitgerust met alle drie de modus, eenvoudigere apparaten beschikken over één of ten hoogste twee modus.

De voornaamste bedoeling van deze modus is een MIDI-systeem af te stemmen op de



zwakste schakel uit de keten, dus de superieure specificaties van de duurdere apparaatuur kunstmatig terug te schroeven tot zij binnen de mogelijkheden van de iets zwakkere broertjes vallen.

#### OMNI (1):

Dit is de default- of inschakelmodus van alle MIDI-apparatuur en uiteraard zijn alle apparaten uitgerust met deze mode. Alle ontvangende apparaten reageren op "noot-aan"/"noot-uit"-codes, onafhankelijk van op welke kanaal zij zijn ingesteld. Hoe de verschillende stemmen van meerstemmige instrumenten op deze informatie reageren is afhankelijk van de interne structuur van het apparaat. In deze mode kan men een aantal MIDI-apparaten uit één zender besturen, waarbij het volledige systeem unisoon speelt.

#### POLY (3):

In deze modus kan men bepaalde apparaten aan bepaalde kanaalnummers koppelen, een actie die in het Engels bekend staat onder het begrip "assignment". Gegevens kunnen dus naar een instrument van het systeem worden gestuurd door het juiste kanaalnummer in het eerste byte van elk pakket in te vullen.

#### MONO (4):

In deze mode kan men elke stem van een meerstemmig instrument aan een kanaalnummer koppelen, met deze beperking dat een instrument alleen een aantal opeenvolgende kanaalnummers in beslag kan nemen.

#### MODE 2:

Op dit moment is deze modus alleen bekend bij sommige Yamaha-synthesizers. Bij deze mode zullen alle stemmen reageren op alle nootinformatie. Of deze mode algemeen geaccepteerd gaat worden is op dit moment nog niet bekend.

Met de in dit hoofdstuk gegevens achtergrondinformatie over het MIDI-systeem is men voldoende toegerust om de principes te begrijpen die nodig zijn voor het besturen van MIDI-apparatuur uit een computer. Het komt er dus steeds op neer de parallelle gegevens uit het inwendige van de computer om te zetten naar seriële vorm volgens de MIDI-standaard en software te schrijven, die een opeenvolging van drie woorden of bytes naar de interface stuurt.

Natuurlijk hebben wij hier niet alle details van de MIDI-standaard besproken. Het is dus zonder meer aan te bevelen de technische documentatie die bij de apparatuur geleverd wordt goed door te nemen. Uit het voorgaande zal, zo hopen wij, een ding wel duidelijk zijn geworden en dat is dat het MIDI-systeem tamelijk doorzichtig is en logisch in elkaar zit. Hoe meer men te weten komt over de manier waarop een MIDI-apparaat werkt, hoe meer men er mee kan doen en hoe meer plezier men er aan kan beleven.

# Interfacing tussen MIDI en computers

### Inleiding

Alle mogelijkheden van het MIDI-systeem komen eerst volledig tot hun recht als men een computer inschakelt voor het opwekken van de voor het systeem benodigde digitale pulsen. Met een eenvoudige huiscomputer en een MIDI-interface kan men bijvoorbeeld reeds een zeer indrukwekkende sequencer samenstellen met een capaciteit van verschillende duizenden noten. Computers werken echter allemaal met een parallel systeem, de gegevens staan tegelijkertijd op acht lijnen ter beschikking. Zoals in het vorige hoofdstuk werd verklaard, werkt MIDI echter met serieel data-transport.

De taak van een MIDI-interface is nu de parallel aangevoerde informatie van de computer om te zetten in een seriële vorm. In principe kan men elke computer via een MIDI-interface inschakelen voor het besturen van MIDI-apparatuur. De meest geschikte computers zijn echter deze met uitgebreide ingangs- en uitgangsfaciliteiten en een vrije geheugenruimte van minstens 32 kB. Zelfs de goedkoopste huiscomputer die op dit moment op de markt is, de Sinclair Spectrum in de oude uitvoering, voldoet uitstekend.

### De 6402 UART

Omzetten van parallel gegevens in seriële gegevens, dus.

Dat klinkt heel ingewikkeld en in feite is het dat ook, maar gelukkig bestaan er een heleboel speciale IC's voor dit doel. Het probleem data op 8 lijnen om te zetten in een datastroom op één lijn is immers niet iets dat specifiek is voor MIDI. In feite gebeurt een heleboel datatransport in seriële vorm, denk bijvoorbeeld maar aan communicatie via de telefoonlijn. Het hele viditelgebeuren berust op het onder seriële vorm verzenden van 7 of 8 bit lange woorden.

In principe kan men dus een MIDI-interface samenstellen rond een standaard RS232C IC, zoals de 6850 of Z80DART. Voor elke microprocessor bestaat tegenwoordig wel een speciaal serieel IC, dat rechtstreeks op de databus van de processor kan worden aangesloten. De hoge baudsnelheid is geen probleem, want de meeste schakelingen functioneren goed tot baudrates van meer dan 500 kB.

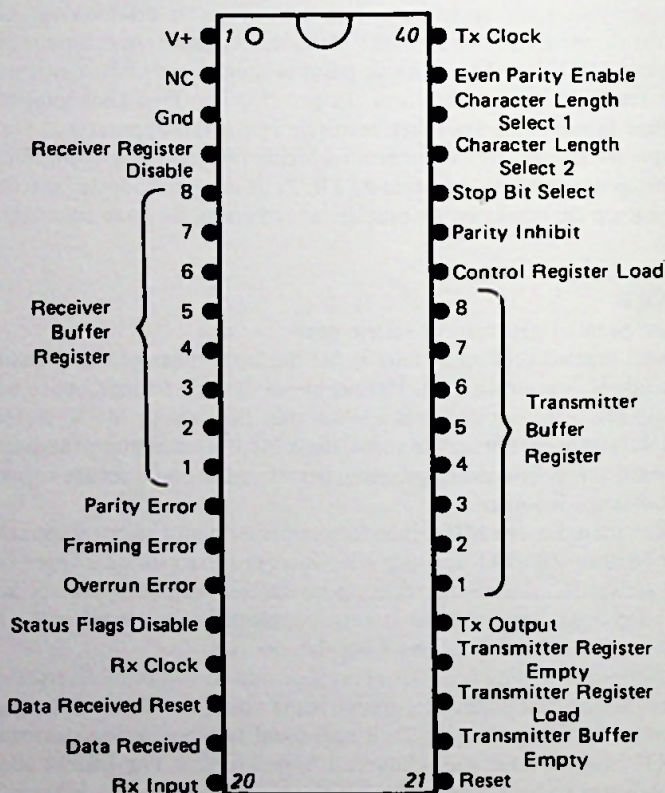
Een veel elegantere oplossing is echter gebruik te maken van een universeel IC, dat op elke computer is aan te sluiten. Het basisschema van de interface kan dan voor alle denkbare computers identiek zijn. Zo'n universeel IC voor seriële datatransmissie is de 6402UART, hetgeen staat voor Universal Asynchronous Transmitter and Receiver. Dit IC heeft bovendien het voordeel dat het niet strikt noodzakelijk is het aan te sturen met een computer. Men kan de schakeling ook los toepassen, een eigenschap waar wij bij enkele toepassingen dankbaar gebruik van zullen maken.

De aansluitgegevens van dit, in een 40 pins DIL-behuizing ondergebracht, IC zijn getekend in afbeelding 5-1.

De acht parallel datalijnen van de computer worden aan het zogenoemde "transmission buffer register" aangeboden. De gegevens worden door dit register overgenomen



op het moment dat de besturingsingang "transmission register load" laag wordt. De gegevens worden vervolgens overgenomen door het "transmission register", een schuifregister met parallelle ingangen, en op het ritme van de clock achter elkaar uit dit register uitgelezen en aan de "TX output" aangeboden. De omzetting van parallel naar serie gebeurt dus door de gegevens in de cellen van een schuifregister in te lezen en dit register daarna leeg te clocken. Er zijn twee databuffers aanwezig, het bufferregister en het eigenlijke schuifregister. Deze structuur wordt meestal bij dit soort schakelingen aangetroffen en heeft het voordeel dat nieuwe gegevens reeds in de buffer ingelezen kunnen worden voordat de schakeling klaar is met het verzenden van het vorige woord. Het al dan niet leeg zijn van de twee buffers wordt aangegeven door signalen op de twee Status-uitgangen, de pennen 22 en 24. Met deze signalen kan men de data leverende schakeling, meestal dus de computer, melden dat de registers leeg zijn en dat een nieuw woord verzonden kan worden.



Afbeelding 5-1 Aansluitgegevens van de UART6402.

De snelheid waarmee het schuifregister wordt uitgelezen bepaalt uiteraard de baudrate van het versturen van de gegevens. Deze snelheid is afhankelijk van de frequentie van het signaal dat aan de "TX clock-input" wordt aangelegd. De baudrate is gelijk aan

een zestiende van de clockfrequentie. Omdat de 6402 een universeel IC is, heeft men de mogelijkheid ingebouwd alle eigenschappen van het seriële woord, zoals woordlengte, soort pariteit en soort stopbits te programmeren. Het IC beschikt over enkele programmeerpennen (35 tot en met 39), waarmee men door het aanleggen van "L" of "H" signalen de genoemde karakteristieken van het seriële woord kan instellen. Deze gegevens worden opgeslagen in een intern register op bevel van een "H" puls op de "control register load" ingang. Maar men kan ook volstaan door de programmapennen met de massa of de +5 volt te verbinden en de "CRL"-pen constant op "H" te houden.

De UART is een tweerichtingen IC, het is dus ook mogelijk seriële data aan het IC aan te bieden en deze gegevens om te laten zetten in acht parallelle bits. De seriële gegevens worden op de "RX input" aangesloten en worden overgedragen op het "received data register". Vandaar gaan de gegevens naar het eigenlijke verwerkingsregister, weer een schuifregister met seriële ingang en parallelle uitgangen. De parallelle gegevens staan ter beschikking op de acht "receiver buffer register" uitgangen. Dit ontvangstgedeelte van het IC heeft een eigen clockingang "RX-clock", de clockfrequentie moet gelijk zijn aan 16 maal de baudrate van de ontvangen signalen.

De ontvanger heeft drie uitgangen die verschillende soorten fouten in de ontvangen signalen detecteren, maar deze uitgangen hebben voor onze toepassingen niet veel nut. Alle uitgangen van deze UART zijn tri-state. Dat betekent dus dat men deze uitgangen een zo goed als oneindig hoge impedantie kan geven, zodat het mogelijk is de uitgangen gewoon parallel te schakelen op de bus van de computer. In tri-state zijn de uitgangen als het ware niet aanwezig en gegevens kunnen zonder bezwaar tussen de computer en andere randapparatuur heen en weer worden gezonden zonder dat de parallel geschakelde UART roet in het eten strooit.

Alleen op het moment dat de UART echt gegevens moet ontvangen of gegevens moet versturen wordt de tri-state toestand opgeheven, waardoor de uitgangen actief worden. Een belangrijke uitgang van de ontvanger is de "data received" op pen 19. Deze wordt "H" als een nieuw byte in het IC is ingelezen. De bedoeling is deze uitgang door het programma te laten controleren en de gegevens eerst uit het register in de computer in te lezen op het moment dat deze uitgang "H" wordt. OP deze manier kan men verhinderen dat een en hetzelfde byte verschillende malen achter elkaar wordt ingelezen. De "data received"-uitgang gaat niet automatisch naar "L" als de gegevens zijn uitgelezen, het volstaat echter een korte "L"-puls op de "data received reset" te zetten. Het IC heeft tot slot nog een algemene reset-ingang, pen 21, waarop na het inschakelen van het IC een korte "H" puls moet worden gezet om alle schakelingen van het IC te activeren.

### **MIDI-interface voor computers met poort-uitgangen**

Zoals in de vorige hoofdstukken reeds gezegd, beschikken een aantal populaire computers, zoals de BBC model B, de Commodore 64 en de VIC-20, over een uitgangspoort die wordt bestuurd door een interne PIA.

Het schema van een MIDI-interface voor dit soort computers is getekend in afbeelding 5-2. De poortuitgangen PB0 tot en met PB7 leveren de parallelle data aan de ingangen van de UART IC1. Deze gegevens worden in het interne register ingelezen op bevel van een lage puls die door de CB2 uitgang van de poort aan de TBRL- ingang van de UART wordt geleverd.

Het is immers mogelijk de computer zo te programmeren dat elke schrijfoperatie naar





de poort een lage puls op de CB2 tot gevolg heeft. Alle gegevens worden dan automatisch in de UART ingelezen.

Bij de Commodore machines kan men de PC2 pen van de poort gebruiken in plaats van de CB2.

Bij computers die niet over zo'n uitgang beschikken zal men op een of andere manier en softwarematig gestuurde digitale uitgang moeten zoeken die gebruikt kan worden voor het triggeren van het inleesproces van de UART. Zo zou men bijvoorbeeld de Strobe van een printerpoort kunnen gebruiken, dit systeem werkt uiteraard alleen bij computers die alle acht de datalijnen ter beschikking stellen van deze poort. Een aantal computers levert slechts zeven databits aan de printer en dan is het onmogelijk deze besturing toe te passen.

De algemeen resetpuls wordt opgewekt door het netwerk C1/R1. Bij het inschakelen van de voeding zal de plotselinge positieve spanningssprong door de condensator worden doorgelaten. De resetingang van het IC wordt dus "H" en de schakeling initialiseert zich. De condensator wordt daarna door de weerstand ontladen.

De seriële uitgang (pen 25) is aangesloten op een als inverter geschakelde NOR-poort IC2a. Deze poort is noodzakelijk, omdat de UART de seriële data geïnverteerd aflevert en het zonder meet koppelen van de seriële uitgang aan een MIDI-apparaat geen effect zou hebben.

Twee overige poorten uit de CD4001 vormen samen met een keramische resonator van 500 kHz de clockoscillator. De UART verzendt de data met een snelheid die gelijk is aan een zestiende van de clockfrequentie, de noodzakelijk waarde van deze frequentie volgt dus uit de formule:

$$31250 \text{ Hz} * 16 = 500.000 \text{ Hz} = 500 \text{ kHz.}$$

Men kan de keramische resonator eventueel vervangen door een goedkoop kristal van 500 kHz.

Zowel resonatoren als kristallen met de genoemde frequentie zijn tamelijk zeldzaam. Vandaar dat afbeelding 5-3 het schema geeft van een alternatieve clockgenerator, die uitgaat van een kristal van 4MHz. Deze zijn goed verkrijgbaar en bovendien zeer goedkoop. Het kristal is opgenomen in de terugkoppeling van een transistorversterker rond T1. Het signaal dat deze schakeling aflevert is echter alles behalve een mooi digitaal signaal. Vandaar dat deze oscillator wordt gevolgd door een pulsformer rond T2. De frequentie moet daarna nog eens door acht gedeeld worden en deze opdracht wordt toevertrouwd aan een zevenvoudige frequentiedeler van het type CD4024.

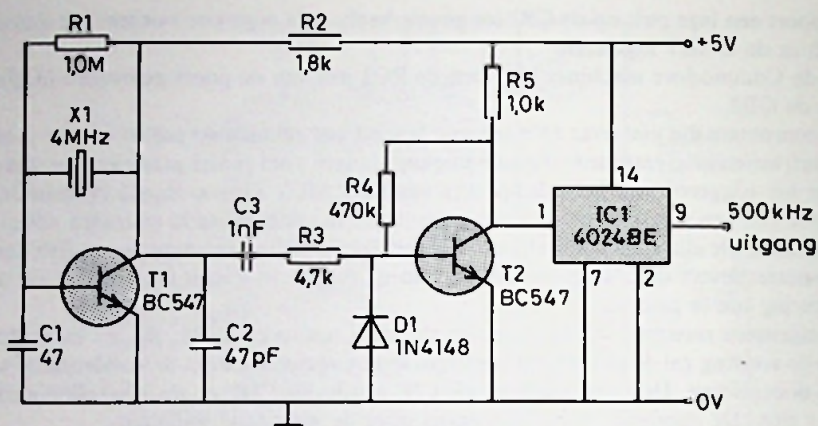
De drie eerste flip-flop's van dit IC worden ingeschakeld en deze zorgen voor een deelverhouding van 8.

Afbeelding 5-4 geeft tot slot nog een clock-oscillator, die werkt met een 1 MHz kristal. Vaak heeft men zo'n kristal in de la op voorraad liggen en in deze gevallen kan schakeling 5-4 als alternatief worden gebruikt. De schakeling is vrijwel identiek aan die van de 4 MHz oscillator, men gebruikt alleen een ander IC om de frequentie van het signaal door 4 te delen, namelijk een CD4013.

Zoals reeds gezegd kan men de UART voor alle mogelijke woordvormen programmeren. In het schema van afbeelding 5-2 wordt de woordvorm ingesteld op 1 startbit, 8 databits, 1 stopbit en geen pariteitsbit. Pen 34 wordt met de +5 volt verbonden, zodat deze gegevens worden aangeboden aan het interne register.

Zoals uit het schema blijkt wordt in deze interface de 6402 alleen als zender gebruikt.





Afbeelding 5-3 Een 500 kHz oscillator met een 4 MHz kristal als basis.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 5-3

Weerstanden, 1/4 W:

R1 1 MΩ

R2 1,8 kΩ

R3 4,7 kΩ

R4 470 kΩ

R5 1 kΩ

Condensatoren:

C1 47 pF, keramisch

C2 47 pF, keramisch

C3 1 nF, MKH

Halfgeleiders:

D1 1N4148

T1 BC 547

T2 BC 547

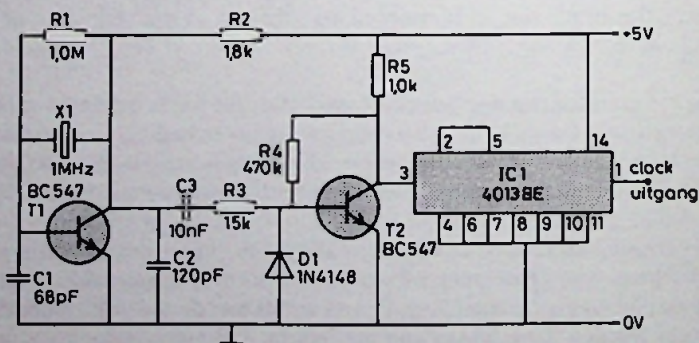
Geïntegreerde schakeling:

IC1 CD 4024 BE

Diversen:

1 x 4 MHz kristal

1 x 14-pens IC-voetje



Afbeelding 5-4 Alternatieve clock-oscillator met een goedkoop 1 MHz kristal.

## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 5-4

### Weerstanden, 1/4 W:

R1 1 M $\Omega$

R2 1,8 k $\Omega$

R3 15 k $\Omega$

R4 470 k $\Omega$

R5 1 k $\Omega$

### Condensatoren:

C1 68 pF, keramisch

C2 120 pF, keramisch

C3 10 nF, MKH

### Halfgeleiders:

D1 1 N 4148

T1 BC 547

T2 BC 547

### Geïntegreerde schakelingen:

IC1 CD 4013 BE

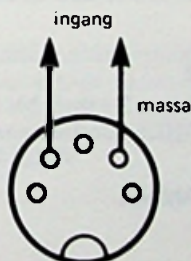
### Diversen:

1 x 1 MHz kristal

1 x 14-pens IC-voetje

De schakeling kan dus alleen een MIDI-sigitaal leveren (MIDI-output) en geen sigitaal ontvangen (MIDI-input). Deze interface is dus bijvoorbeeld bruikbaar voor voorgeprogrammeerde sequencers, maar kan niet als real time sequencer worden gebruikt omdat de gegevens van het toetsenbord via een MIDI-input in de computer moeten worden ingelezen. Wij komen later op dit soort meer ingewikkelde toepassingen terug.

Alle MIDI-signalen worden via doodgewone gestandaardiseerde vijfpolige DIN-stekers en -chassisdelen met de apparatuur verbonden. De vijf pennen staan volgens afbeelding 5-5 over 180 graden verspreid. uit deze figuur kan men ook afleiden op welke pennen men de massa en het sigitaal dient aan te sluiten.



Afbeelding 5-5 Standaard MIDI-verbinding door middel van een 5-polige DIN-steker.

### Aansluiten van de interface op de computerpoort

Deze schakeling is in eerste instantie ontwikkeld voor gebruik bij de Commodore machines en de BBC model B.

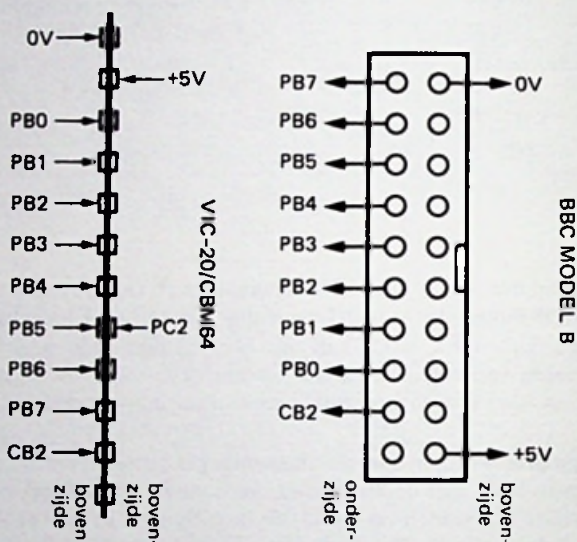
De poortansluitingen van deze drie computers worden voorgesteld in afbeelding 5-6. De benodigde stekers zijn redelijk goed verkrijgbaar, maar zijn in veel gevallen niet voorzien van een nok die voorkomen moet dat men de steker omgekeerd in de poort duwt. Deze nok, de zogenoemde polarisatiesleutel, kan met enige handigheid zelf wor-



den aangebracht, veel eenvoudiger is het natuurlijk om op weerskanten van de stekker een stukje papier te plakken met in grote letters de woorden "bovenkant" en "onderkant". Vergissingen uitgesloten.

Voor de BBC-machine heeft men een 20 polige IDC connector nodig, voor de Commodore machines moet men een 2 maal 12 polige edge-connector aanschaffen.

Denk er aan dat men bij de C-64 de lijn PC2 moet inschakelen in plaats van de PC2.



Afbeelding 5-6 De gebruikerspoorten van de BBC model B, de Commodore 64 en de VIC-20.

### Software voor de BBC model B

Het basisprogramma van programma 5-1 geeft het standaard schema waarmee men gegevens uit de computer via de MIDI-interface naar een instrument kan versturen.

#### 5 REM BBC MIDI PROGRAMMA

10 ?&FE6C=160

20 ?&FE62=255

30 READ A,B

40 IF A=0 THEN END

50 ?&FE60=150: ?&FE60=A: ?&FE60=127

60 FOR D=1 TO B:NEXT

70 ?&FE60=134: ?&FE60=A: ?&FE60=0

80 GOTO 30

90 DATA 60,500,62,500,64,500,65,500,67,500,69,500,

71,500,72,1000,0,0

Programma 5-1 Test programma voor het uitlezen van MIDI-data voor de BBC model B.

Regel 10 zet CB2 op de gewenste modus, in de volgende regel worden de poortlijnen PB0 tot en met PB7 als uitgang gedefinieerd. De toonwaarde en -lengte worden ingevoerd in DATA-regels en deze waarden worden in de variabelen A (waarde) en B (lengte) ingelezen in regel 30.

De DATA-waarden in dit voorbeeld lezen een toonladder in die start bij de middenste C, natuurlijk kan men deze waarden vervangen door een echt melodietje. De DATA-waarden worden afgesloten met twee nullen, op deze manier weet de computer wanneer alle waarden uit de DATA-regels zijn verwerkt.

In regel 50 worden de gelezen A-waarden naar de poort gestuurd en de interface ingesteld op kanaal 7. Voor monofone werking kan men uiteraard elk ander kanaal net zo goed gebruiken. In regel 60 volgt een loze FOR-NEXT lus, met als eindwaarde uiteraard de in de B-variabele ingelezen waarde.

Regel 70 reset de poort en regel 80 stuurt het programma terug naar regel 30, zodat de nieuwe A en B waarden worden verwerkt. Dit gaat zo door tot regel 40 de waarde 0 detecteert waardoor het programma wordt gestopt.

Deze BASIC-routine werkt uitstekend zolang men niet meer dan 3 á 4 kanalen moet uitlezen. Voor polyfone toepassingen met meer kanalen moet men echter gebruik gaan maken van machinecode routines, omdat BASIC dan te traag wordt en de synchronisatie tussen de diverse kanalen in gevaar komt.

Zolang men met BASIC werkt bestaat er geen gevaar dat er nieuwe gegevens naar de interface worden gestuurd alvorens alvorens de vorige verwerkt zijn. De snelheid van machinecode heeft tot gevolg dat deze mogelijkheid wel aanwezig is. De beste remedie is het nagaan van de status van de TBRE-uitgang van de UART op pin 22 van het IC. Deze uitgang wordt "H" als de buffer leeg is en de schakeling klaar is voor het ontvangen van nieuwe gegevens. Deze methode is zonder meer de beste, maar vereist uiteraard een eigen routine. Veel eenvoudiger is het een standaard vertraging van ongeveer 350 microseconde in te bouwen in de lus die de gegevens naar de poort stuurt.

#### Software voor de VIC-20

De VIC-20 kan op ongeveer dezelfde manier worden geprogrammeerd als de BBC, uiteraard moet men wel de adressen van de registers van de PIA aanpassen.

#### 5 REM VIC-20 MIDI PROGRAMMA

```
10 POKE 37138,255
20 POKE 37148,160
30 READ A,B
40 IF A=0 THEN END
50 POKE 37136,150:POKE 37136,A:POKE 37136,127
60 FOR D=1 TO B:NEXT
70 POKE 37136,134:POKE 37136,A:POKE 37136,0
80 GOTO 30
90 DATA 60,250,62,250,64,250,65,250,67,250,69,250,
71,250,72,500,0,0
```

Programma 5-2 Dit programma leest in DATA-regels opgenomen gegevens naar de MIDI-uitgang en is bruikbaar op de VIC-20.



Programma 5-2 geeft een voorbeeld, let daarbij op het gebruik van POKE's voor het inlezen van de poortgegevens, iets dat bij de BBC niet kan.

#### **Software voor de Commodore 64**

Programma 5-3 is een op de Commodore 64 aangepaste versie van de basisroutine.

```
5 REM COMMODORE 64 MIDI PROGRAMMA
10 POKE 56579,255
20 READ A,B
30 IF A=0 THEN END
40 POKE 56577,150:POKE 56577,A:POKE 56577,127
50 FOR D=1 TO B:NEXT
60 POKE 56577,134:POKE 56577,A:POKE 56577,0
70 GOTO 20
80 DATA 60,250,62,250,64,250,65,250,67,250,69,250,
71,250,72,500,0,0
```

Programma 5-3 MIDI-programma voor de Commodore 64.

Het is nu echter niet noodzakelijk de PC2-lijn op de gewenste modus in te stellen, want in tegenstelling tot de CB-2 lijn heeft deze lijn slechts één modus, gelukkig een die bruikbaar is voor deze toepassing.

#### **MIDI-interfacing op de processorbus**

Er zijn twee gevallen waarbij het noodzakelijk is de MIDI-interface rechtstreeks op de bus van de microprocessor aan te sluiten:

- als men een computer heeft die niet over een geschikte gebruikerspoort beschikt;
- als men de interface zowel voor het inlezen als voor het uitlezen van MIDI-gegevens wil gebruiken.

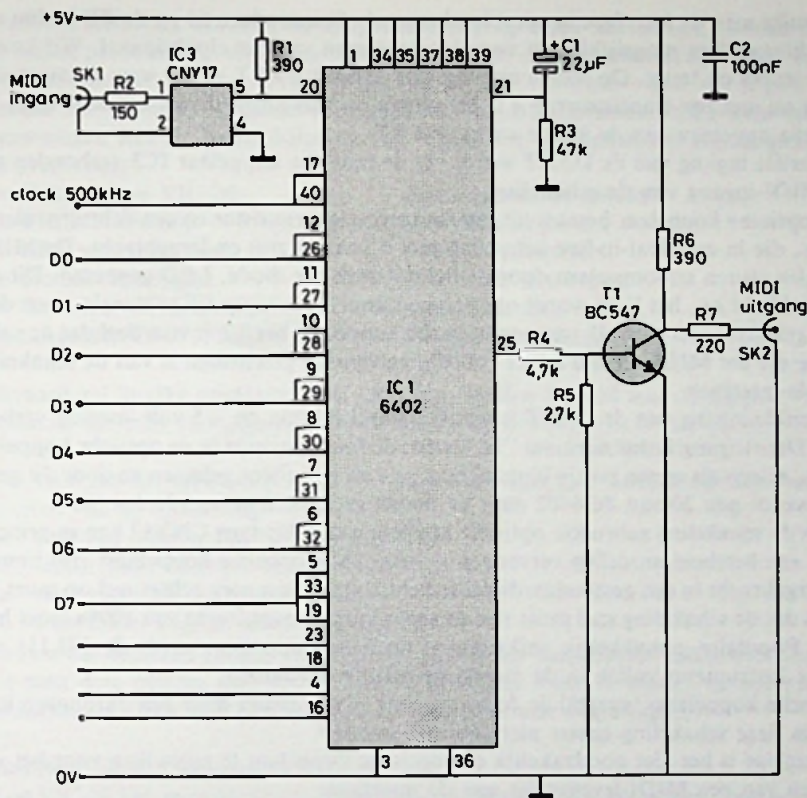
Zoals reeds enige malen in dit boek werd opgemerkt, moet men bij het aansluiten van externe schakelingen op de processorbus zeer voorzichtig te werk gaan. De geringste fout kan tot vernieling van de processor en/of andere dure IC's leiden.

Alle computers bezitten een aansluiting, waarop de belangrijkste signalen van de processor rechtstreeks, dus zonder tussenschakeling van wat voor elektronisch onderdeel dan ook, ter beschikking staan. Soms wordt deze aansluiting de expansiepoort genoemd, soms de cartridgepoort.

In deze paragraaf zullen wij een basisschakeling bespreken, opgebouwd rond de reeds bekende UART6402, die de MIDI-ingang en -uitgang omvat en alleen aangevuld moet worden met een decodeerschakeling, die vier basisfuncties van de schakeling aanspreekt. De elektronica van deze adresdecodering is echter afhankelijk van computer tot computer en zal voor elk merk en model afzonderlijk besproken worden.

Het schema van de interface is getekend in afbeelding 5-7.

Naast de in deze figuur voorgestelde schakeling heeft men alleen nog een clockoscillator nodig. In een van de vorige paragrafen zijn enige geschikte clockoscillatoren beschreven.



Afbeelding 5-7 MIDI-interface voor de Commodore computers.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 5-7

##### Weerstanden, 1/4 W:

R1 390  $\Omega$

R2 150  $\Omega$

R3 47 k $\Omega$

R4 4,7 k $\Omega$

R5 2,7 k $\Omega$

R6 390  $\Omega$

R7 220  $\Omega$

##### Condensatoren:

C1 22  $\mu$ F, 25 V

C2 100 nF, MKH

##### Halfgeleiders:

T1 BC 547

##### Geïntegreerde schakelingen:

IC1 6402

IC3 CNY 17

##### Diversen:

1 x 40-pens IC-voetje

2 x 5-polige DIN-steker 180°

2 x 5-polig DIN-chassisdeel 180°



Gebruikt men de interface in combinatie met de Commodore 64 op de BBC, dan zijn er echter andere mogelijkheden voor het genereren van het clocksignaal. Wij komen daar straks op terug. De seriële uitgang van de 6402 UART wordt weer geïnverteerd, maar nu met een transistortrap T1. De uitgang wordt kortsluitvast gemaakt door het in serie opnemen van de kleine weerstand R7.

De seriële ingang van de UART wordt via de optische koppelaar IC3 verbonden met de MIDI-ingang van de schakeling.

Een optische koppelaar bestaat uit een fotogevoelige transistor en een lichtuitstralende diode, die in een dual-in-line behuizing met 6 pennen zijn ondergebracht. De MIDI-signalen sturen stroompulsen door de lichtuitstralende diode, LED genoemd. Dit onderdeel licht op, het licht wordt opgevangen door de fotogevoelige transistor en deze gaat geleiden. Het gebruik van een optische koppelaar heeft het voordeel dat de schakeling die het MIDI-signaal levert volledig galvanisch gescheiden is van de schakeling van de interface.

De seriële ingang van de UART is via weerstand R1 met de + 5 volt voeding verbonden. Deze ingang is dus normaal "H", want de fototransistor in de optische koppelaar spert. Alleen als er een pulsje binnenkomt gaat de transistor geleiden en door dit geleiden wordt pen 20 van de 6402 naar de massa getrokken en wordt dus "L".

De in de schakeling gebruikte optische koppelaar van het type CNY17 kan in principe door een heleboel modellen vervangen worden. Alle optische koppelaars zijn immers ondergebracht in een gestandaardiseerde behuizing. Waar men echter wel op moet letten is dat de schakeling snel moet zijn en een minimale overdracht van 100% moet hebben. Populaire gemakkelijk verkrijgbare optische koppelaars zoals de TIL111 van Texas Instruments zullen in de meeste gevallen wel voldoen.

Optische koppelaars waarbij de fototransistor is vervangen door een darlington kunnen in deze schakeling echter niet gebruikt worden.

In principe is het niet noodzakelijk een optische koppelaar te gebruiken voor het verbinden van een MIDI-leverancier met de interface.

De optische koppeling heeft echter een aantal voordelen:

- als men zowel de MIDI-ingang als -uitgang van de interface verbindt met apparatuur kunnen aardlussen ontstaan. Deze geven vaak aanleiding tot stoorsignalen. Door gebruik te maken van een optische scheiding in een van de verbindingen wordt de interface slechts op één punt galvanisch verbonden met de massa van de geluidenproducerende apparatuur en is het uitgesloten dat er massalussen ontstaan.
- bij verbinden van verschillende apparaten, die niet geaard zijn kunnen de potentiaalverschillen tussen de diverse massa's van de apparaten problemen geven. Hoewel moderne apparatuur in de meeste gevallen dubbel geïsoleerd is en er dan weinig gevaar bestaat dat er spanningsverschillen tussen de diverse massa's gemeten kunnen worden, is het aanbrengen van een optische scheiding een uitstekend basisprincipe bij het interfacen tussen een computer en andere schakelingen.

De acht datalijnen van de poort van de computer worden verbonden met de parallelle ingangen én uitgangen van de UART. Bovendien gaat D7 ook nog eens naar de "data received status" uitgang van de 6402.

Als de computer in werking is worden er continu data op de acht lijnen van de processor geschreven. Zaak is nu de interface zo uit te breiden dat de UART alleen data inleest als dat noodzakelijk is en alleen data op de bus zet als dit mag. Kortom, er moeten

decoders ontworpen worden, die aangesloten zijn op enige adreslijnen en controlelijnen van de processorbus en slechts bij bepaalde gegevens-combinaties de UART activeren. Een en ander is echter afhankelijk van het soort computer dat wordt gebruikt, vandaar dat wij in de volgende 12 paragrafen van dit hoofdstuk de hardwarematige aanpassingen aan de basisschakeling van afbeelding 5-7 achtereenvolgens gaan beschrijven voor:

- de Commodore VIC-20;
- de Commodore 64;
- de BBC model B;
- de Sinclair Spectrum;
- de Schneider CPC 464;
- de Schneider CPC 6128;
- de Enterprise 64 en 128;
- de MSX-computers;
- de MTX-computers;
- de Sinclair ZX 81;
- de Sinclair QL;
- overige computers.

Uiteraard zal in elke paragraaf ook aandacht worden besteed aan de specifieke programma's die men kan gebruiken voor het in- en uitlezen van MIDI-gegevens.

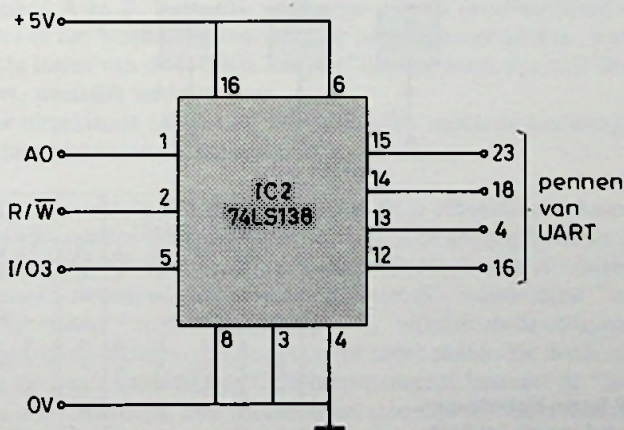
De UART van het type 6402 heeft vier pennen die gebruikt kunnen worden voor het activeren van de schakeling:

- de "received register disable" op pen 4;
- de "status flags disable" op pen 16;
- de "data received reset" op pen 18;
- de "transmitter register load" op pen 23.

Vandaar dat deze vier pennen open zijn gelaten in het basisschema van afbeelding 5-7. Hoe men deze pennen met de bus van de computer moet verbinden en hoe men de noodzakelijke clock kan genereren wordt per computer besproken.

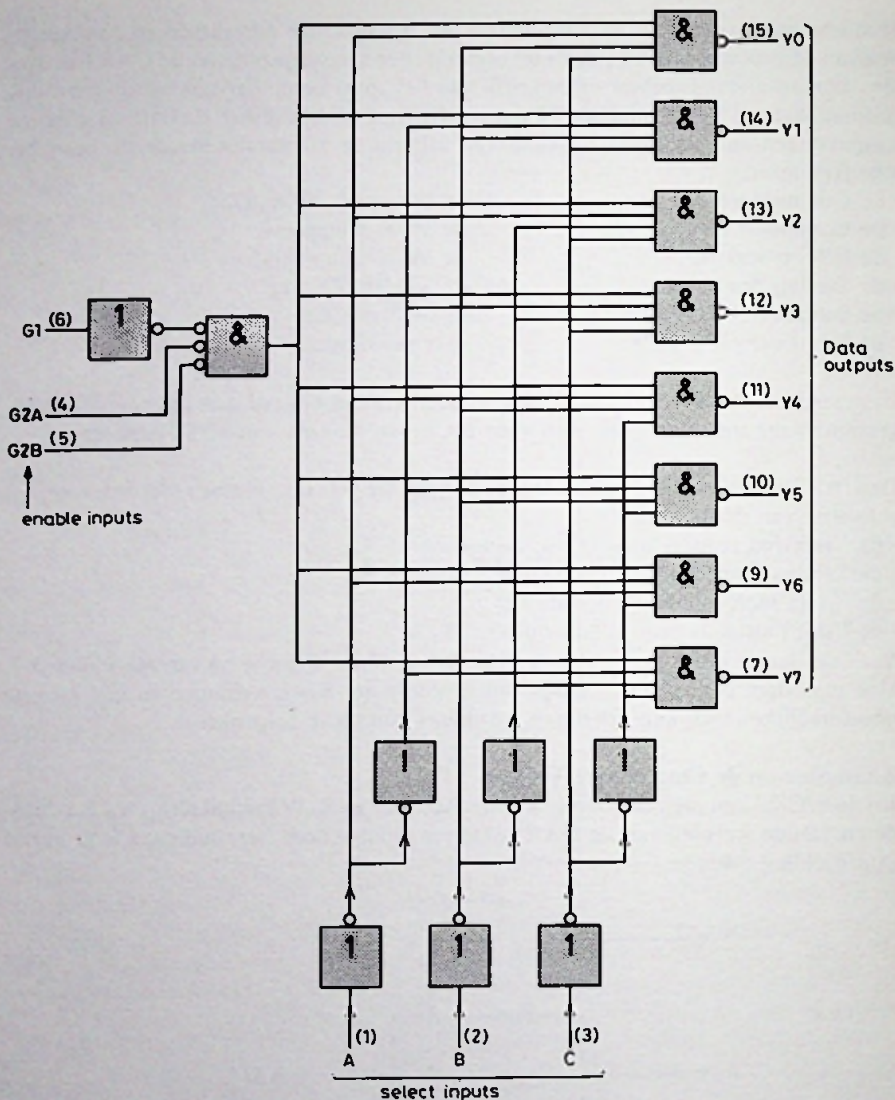
#### Aansluiten op de Commodore VIC-20

Bij de VIC-20 kan men de processorlijnen A0, I/O3 en R/W inschakelen voor het decoderen van de werking van de UART. De eenvoudige decodeerschakeling is getekend in afbeelding 5-8.



Afbeelding 5-8 Adressering bij de Commodore computers.





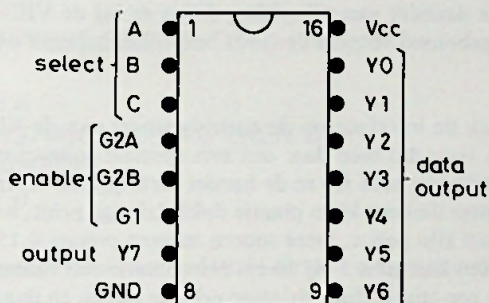
Afbeelding 5-9 Intern blokschema en waarheidstabel van de 74LS138 drie naar acht decoder.

INPUTS					OUTPUTS							
ENABLE		SELECT										
G1	G2*	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

IC2, een 74LS138, is een drie naar acht decoder, waarvan het interne blokschema is getekend in afbeelding 5-9 en de aansluitgegevens kunnen worden afgeleid uit afbeelding 5-10.

De werking van dit IC is als volgt. Op drie ingangen worden binaire codes tussen L-L-L en H-H-H aangelegd. Voor elke code zal een van de acht uitgangen naar "L" gaan als aan een aantal voorwaarden is voldaan.

Die voorwaarden worden bepaald door de signalen op de "enable"-ingangen. De schakeling is actief als G1 "H" is en beide G2's "L".



Afbeelding 5-10 Aansluitgegevens van de 74LS138.

Terug nu naar het schema van afbeelding 5-8. Twee enables zijn vast verbonden met het activeringsniveau: G1 ligt aan de +5 volt (= "H") en G2A aan de massa (= "L"). De derde enable-ingang gaat naar de I/O3 lijn van de bus. De schakeling wordt dus geactiveerd als deze lijn naar "L" gaat en dit gebeurt als er een adres in het bereik van 39936 tot en met 40959 wordt aangesproken. Dit is een eigenschap van de VIC-20. Een van de data-ingangen van de decoder (C) is vast verbonden met de massa, is dus laag. Op deze manier zal het IC als twee naar vier decoder werken en welke van de vier uitgangen Y0 tot met Y3 "L" wordt hangt af van de binaire combinatie op de twee overige ingangen A en B. Deze zijn verbonden met de processorlijnen A0 en R/W. Men moet dus in het beschikbare adresbereik twee adressen zoeken, waarbij A0 "L" en "H" is. De status van de I/O-lijn hangt af van het soort operatie dat men met dit adres uitvoert, namelijk schijven lezen.

Dank zij deze uitgekende aansturing van de decoder neemt de besturing van de interface slechts twee geheugenadressen in beslag.

De vier Y-uitgangen van de decoder worden met de in afbeelding 5-8 aangeduide pennen van de UART verbonden (zie afbeelding 5-7). Een uitgang bestuurt de "transmitter buffer register input", deze actie is noodzakelijk als data op de databus moet worden verzonden. De tweede uitgang is verbonden met de "enable input" van het "received data buffer register" en deze ingang moet "L" worden als de computer ingekomen MIDI-gegevens op de databus van de processor moet zetten. De derde uitgang van de decoder reset de "data received flag". De laatste uitgang bestuurt de "status flag enable input" van de UART. Op deze manier is het mogelijk de "data received flag" softwarematig in de gaten te houden via D7 van de databus. Deze lijn is immers met deze uitgang verbonden.

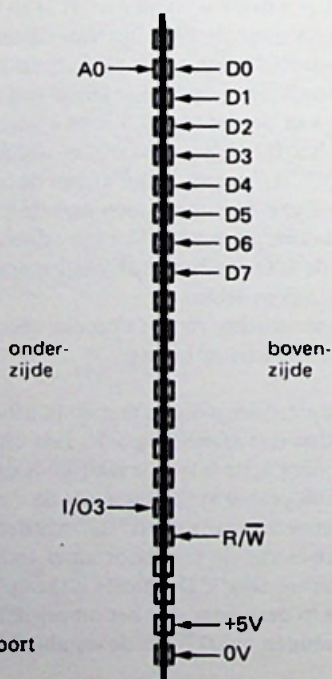


Dit alles samenvattend kunnen wij een eenvoudig overzichtje opstellen van welke adressen moeten worden gelezen of geschreven om een van de vier besturingsacties aan de UART door te geven:

- READ      39936      leest ontvangen gegevens
- WRITE    39936      zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ      39937      leest de status van de "data received flag"
- WRITE    39937      reset deze vlag

Naast de eenvoudige decoder van afbeelding 5-8 is er bij de VIC- 20 nog een clock-oscillator nodig, opgebouwd volgens de reeds besproken schema's van afbeelding 5-2, 5-3 of 5-4.

Bij het aansluiten van de interface op de cartridgepoort van de VIC-20 doet zich het praktische probleem voor dat men daar een zeer speciale connector voor nodig heeft. Een connector die zelfs niet eens los in de handel verkrijgbaar is. In feite bestaat deze connector uit niets meer dan een klein plaatje dubbelzijdige print, waar op beide zijden 22 smalle kopersporen zijn geëtst. Deze sporen moeten precies 0,156 inch of 3,96 mm van elkaar liggen. Men kan zo'n 5 bij 10 cm printplaatje zelf maken door in een elektronica speciaalzaak een stukje dubbelzijdige print te kopen en daar met etsbestendige inkt, op de juiste afstand, aan weerszijden 22 streepjes op te tekenen. Na het etsen en schuren kan men de verbindingen naar de interface rechtstreeks op de koperen sporen solderen. De aansluitgegevens van de cartridgepoort zijn getekend in afbeelding 5-11.



Afbeelding 5-11 De cartridgepoort van de Commodore VIC-20.

Een volledige test van de MIDI-interface is vrij moeilijk zonder geschikte meetapparatuur uit te voeren, omdat de drie seriële woorden vaak in minder dan een duizendste seconde worden verzonden. Dit is een tempo dat BASIC niet kan bijbenen en men moet dus in machinecode of assembler gaan programmeren.

Toch is het mogelijk de werking van de schakeling oppervlakkig te controleren door gebruik te maken van de BASIC-routine van programma 5-4.

Deze routine zendt gegevens naar de UART en leest deze daarna weer terug in de computer. Men heeft dan uiteraard geen last van de traagheid van BASIC, maar nogmaals, dit programma is absoluut onbruikbaar voor het besturen van muziekinstrumenten.

## 5 REM VIC MIDI TEST PROGR

10 INPUT A

20 POKE 39936,A

30 IF (PEEK(39937)AND 128)= 0 THEN 30

40 PRINT PEEK(39936)

50 POKE 39937,0

60 GOTO 10

Programma 5-4 Testprogramma voor de MIDI-interface, aangesloten op een VIC-20.

Alvorens men deze test uitvoert moeten de in- en uitgang van de interface rechtstreeks met elkaar verbonden worden. Het is de bedoeling de gegevens via het toetsenbord in te lezen, maar men zou natuurlijk ook een DATA-structuur kunnen gebruiken. De eerste waarde wordt in regel 10 opgevraagd en via regel 20 in de interface ingelezen. Uiteraard kan men alleen getallen tussen 0 en 255 intoetsen.

Regel 30 vormt een lus, die de computer blijft doorlopen tot de "data received output" aangeeft dat de gegevens zijn ontvangen. Hoewel de traagheid van BASIC er in de meeste gevallen voor zorgt dat zo'n wachtlus in feite overbodig is, moet men deze lus toch maar liever opnemen, omdat in een reële toepassing van de interface het altijd noodzakelijk is de "received data flag" af te tasten alvorens met het programma verder laat gaan. Nu is die vlag aangesloten op D7 en het is dus noodzakelijk alleen de status van deze lijn uit te lezen. Nu kan dat niet in BASIC, omdat de enige functie die bestaat, namelijk PEEK, alle acht de datalijnen uitleest. Vandaar dat er een handigheidje wordt uitgehaald. Door de PEEK-waarde logisch met een AND te koppelen aan het getal 128 wordt alleen gekeken naar het hoogste databit D7. De toestand van de overige 7 datalijnen is onbelangrijk. Het resultaat van deze AND is 0 als D7 "L" is en 128 als D7 "H" is. Bij computers die niet over logische AND-instructies beschikken kan men de status van D7 bepalen door de ge-PEEK-te waarde op een normale manier te vergelijken met het getal 127. Als D7 gelijk is aan "H" zal de PEEK-functie altijd een getal groter dan 127 opleveren. De PEEK-waarde wordt in regel 40 op het beeldscherm geschreven en uiteraard moet deze gelijk zijn aan het getal dat men in regel 10 via het toetsenbord heeft ingevoerd.

Regel 50 reset de "data received flag", zodat de volgende waarde ingelezen kan worden. Regel 60 leidt de computer terug naar het begin van de routine.

## Aansluiten van de Commodore 64

De hiervoor beschreven schakelingen kunnen zonder meer ook gebruikt worden in combinatie met de Commodore 64 computer. Het enige verschil is dat de "memory



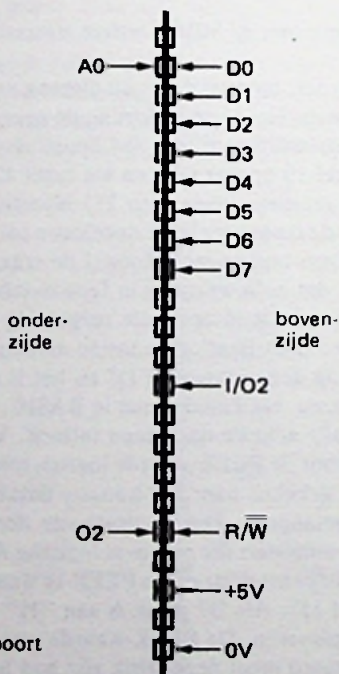
expansion" van deze computer als edge-connector is uitgevoerd met twee rijen printbanen op een onderlinge afstand van 0,1 inch (= 2,54 mm). Men kan deze edge-connector op de bij de VIC-20 beschreven manier zelf maken uit een stukje dubbelzijdige print.

De aansluitgegevens van deze connector zijn getekend in afbeelding 5-12.

Bij de Commodore 64 wordt gedecodeerd middels de I/O2-lijnen en dus wordt het beschikbare adressenbereik 57088 tot en met 57343.

Uitgaande van het gegeven dat ook nu adreslijn A0 en uiteraard de R/ $\overline{W}$ -lijn wordt gebruikt voor het adresseren van de decoder, kan men berekenen dat de interface door de volgende adressen wordt aangesproken:

- |         |       |   |
|---------|-------|---|
| - READ  | 57088 | leest ontvangen gegevens                    |
| - WRITE | 57088 | zendt gegevens naar de MIDI-uitgang         |
| - READ  | 57089 | leest de status van de "data received flag" |
| - WRITE | 57089 | reset deze vlag                             |



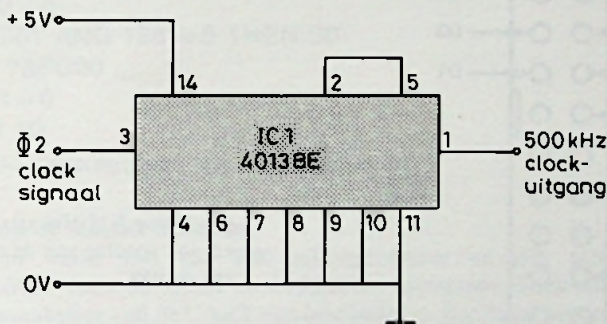
Afbeelding 5-12 De cartridgepoort van de Commodore 64.

Men kan het programma 5-4 gebruiken als men de adressen in de POKE- en PEEK-instructies aanpast.

Bij de Commodore is het mogelijk het clocksignaal voor de UART af te leiden uit de interne klok van de computer. Op de connector staat namelijk het signaal phi-2 ter beschikking en dit heeft een frequentie van 980 kHz. Als men deze frequentie door twee

deelt ontstaat een clocksignaal met een frequentie van 490 kHz, hetgeen dicht genoeg tegen de theoretische waarde van 500 kHz ligt om bruikbaar te zijn.

Een bruikbare schakeling is getekend in afbeelding 5-13, waarde de interne klok van de computer wordt aangesloten op een ingang van een type-D flip-flop uit een CD4013 CMOPS IC. Deze schakeling deelt de frequentie van het signaal door twee en de uitgang kan worden afgenomen van de flip-flop op pen 1.



Afbeelding 5-13 Frequentiedeler die de interne clock van de computer omvormt tot een 500 kHz signaal voor het besturen van de UART.

### Aansluiten op de BBC model B

De tot nu toe beschreven schakelingen kunnen op de "1 MHz bus" van de BBC model B worden aangesloten, maar er ontstaan een aantal kleine probleempjes.

Zoals uit afbeelding 5-14 blijkt, is de +5 volt niet naar buiten gebracht op de genoemde "1 MHz bus" van deze computer. Nu is dat niet zo'n ramp, want de voeding staat wel ter beschikking op zowat alle overige poorten en aansluitingen waarover deze computer bezit. Men zou bijvoorbeeld volgens het schema van afbeelding 5-15 de voeding kunnen aftakken van de analoge poort. Deze poort komt binnen bereik als men een standaard 15-polige type-D connector koopt en men hoeft alleen de +5 volt af te takken.

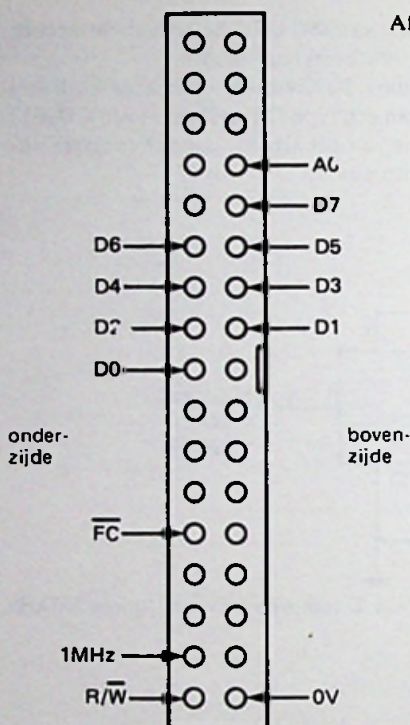
Problematischer is de eigenschap van deze computer dat alle geheugenbewerkingen met een clock van 2 MHz plaatsvinden, maar alle input/output-operaties met slechts 1 MHz.

Dit heeft tot gevolg dat men de page-select lijnen  $\overline{FC}$ , de BBC equivalenten van Commodore's I/O, niet zonder meer kan gebruiken voor het decoderen van de UART. Men moet een klein schakelingetje tussenvoegen, dat de  $\overline{FC}$ -signalen als het ware opoetst alvorens los gelaten te worden op de decodeerschakelingen van de interface. Er bestaan verschillende systemen om deze signalen toonbaarder te maken, maar in de praktijk blijkt dat onze UART genoeg neemt met de meest eenvoudige oplossing. Deze is getekend in afbeelding 5-16 en bestaat uit niets meer dan een kleine poortschakeling met flip-flop, waarin de 1 MHz clock en de  $\overline{FC}$ -lijn van de bus worden gebruikt om een nieuw  $\overline{FC}$ -signaal te fabriceren dat bruikbaar is voor de UART-decoder van afbeelding 5-8.

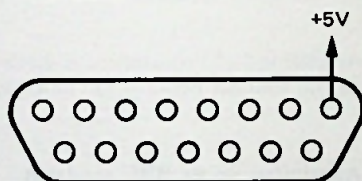
Voor de rest wordt weer gebruik gemaakt van de A0 en de  $R/\overline{W}$  lijnen van de bus.



Afbeelding 5-14 De 1 MHz bus van de BBC model B.

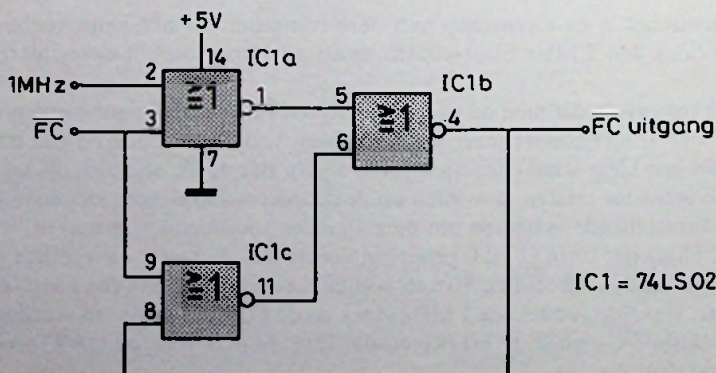


Afbeelding 5-15 Het aftakken van de +5 volt voeding van de analoge poort van de BBC.



Bij gebruik van de page-select  $\overline{FC}$  kan men adresseren in het bereik &FC00 tot en met &FCFF, zodat het volgende lijstje ontstaat:

- READ      &FC00    leest ontvangen gegevens
- WRITE    &FC00    zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ      &FC01    leest de status van de "data received flag"
- WRITE    &FC01    reset deze vlag



IC1 = 74LS02

Afbeelding 5-16 Hulpshakeling voor het toonbaar maken van de FC-lijn van de 1 MHz bus.

Het testprogramma voor de BBC model B volgt in grote lijnen de reeds beschreven programma's voor de Commodore machines. Men moet er alleen rekening mee houden dat deze computer niet over de POKE- en PEEK-statements beschikt. Zoals uit de lijst van programma 5-5 blijkt, kan men dit nadeel gemakkelijk ondervangen door gebruik te maken van de ?-notatie.

```

5 REM BBC MIDI TEST PROGR
10 INPUT A
20 ?&FC00 = A
30 IF(?&FC01 AND 128) = 0 THEN 30
40 PRINT ?&FC00
50 ?&FC01 = 0
60 GO TO 10

```

Programma 5-5 Testprogramma voor de BBC model B.

### Aansluiten op de Sinclair Spectrum

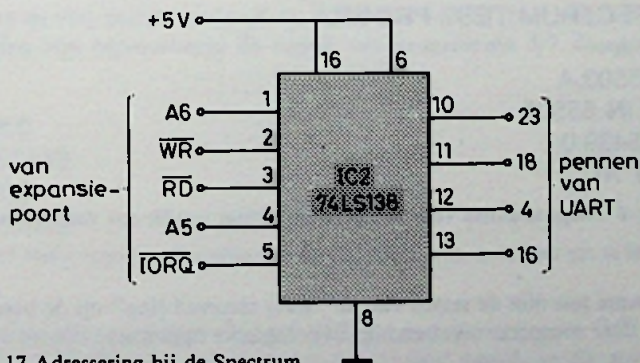
De Spectrum werkt met een Z80 microprocessor en niet met een 6502 of 6502-compatible, zoals de tot nu toe beschreven apparaten. Toch wil dit niet zeggen dat de basisschakeling van de UART niet bruikbaar is. Een beter bewijs van het universele karakter van de micro-elektronica zal moeilijk te vinden zijn. Toch zijn er natuurlijk fundamentele verschillen in de werking van een Z80 en een 6502.

Het grootste verschil is dat de Z80 door middel van twee lijnen aangeeft of een adresseerinstructie met het geheugen te maken heeft of met de input/output. Deze lijnen worden IORQ van input/output request en MEMRQ request genoemd. De IORQ wordt "L" als er een input/output instructie wordt afgewerkt en de MEMRQ gaat naar "L" als er een geheugenadres wordt aangesproken.

Een tweede verschil is dat de Z80 is voorzien van afzonderlijke READ en WRITE lijnen. De RD wordt "L" als er gelezen wordt, de WR als er geschreven wordt.

Bij de meeste op de Z80 gebaseerde computers worden de acht minst belangrijke adresbits A0 tot en met A7 gebruikt voor input/output operaties. Na decoding blijven er dus 256 bruikbare adressen over.

Bij de Spectrum staan echter alle 16 datalijnen ter beschikking voor het adresseren van de in- of uitgangen. Een externe schakeling wordt geactiveerd door het "L" maken van



Afbeelding 5-17 Adressering bij de Spectrum.



de corresponderende adreslijn. Nu kan men niet alle lijnen gebruiken, omdat er intern reeds een aantal worden gebruikt, bijvoorbeeld voor het aansturen van de rand rond het scherm en de zoemer. In principe staan alleen de lijnen A5, A6 en A7 voor eigen uitbreiding ter beschikking.

De UART-decoder moet dus aangesloten worden op de IORQ, de WR, de RD en twee adreslijnen om alle vier de besturingssignalen voor de UART te decoderen.

Een geschikte schakeling is getekend in afbeelding 5-17.

De twee negatieve enable-ingangen van de decoder worden verbonden met de IORQ- en A5-signalen. De positieve enable-ingang is onbruikbaar en wordt aan de +5 volt gelegd. De drie overige signalen besturen de drie ingangen A, B en C van het IC. Bij gebruik van de A5- en A6-signalen worden de besturingsadressen voor de UART:

- READ	65503	leest ontvangen gegevens
- WRITE	65503	zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ	65439	leest de status van de "data received flag"
- WRITE	65439	reset deze vlag

Afbeelding 5-18 geeft een overzicht van de plaats van de voor deze toepassing belangrijke signalen op de uitbreidingspoort van de Spectrum. De poort is uitgevoerd als dubbelzijdige edge-connector op de rand van de print van de computer, gelukkig zijn de hierop passende, 2 x 28-polige vrouwelijke connectoren, voorzien van een polarisatiesleutel in de onderdelenwinkel verkrijgbaar. Deze baantjes staan hier overigens weer op een onderlinge afstand van 0,1 inch of 2,54 mm.

Hoewel er een clock-sigitaal op de connector ter beschikking staat is het absoluut onbruikbaar voor onze toepassing, omdat het bij bepaalde instructies, zoals de BEEP, onderbroken wordt. Men moet de clock voor de UART dus extern opwekken met een van de beschreven schakelingen.

De combinatie Spectrum + MIDI-interface kan op de gebruikelijke manier worden getest door MIDI-uitgang met -ingang te verbinden en het programma 5-6 te draaien. Het enige verschil met de vorige programma's is dat men geen gebruik kan maken van de welbekende PEEK- en POKE-instructies, omdat deze bij de Spectrum alleen betrekking hebben op het geheugen. Voor schrijven naar en lezen van in- en uitgangen moet men gebruik maken van de IN en OUT statements.

## 5 REM SPECTRUM TEST PROGR

10 INPUT A

20 OUT 65503,A

30 PRINT IN 65503

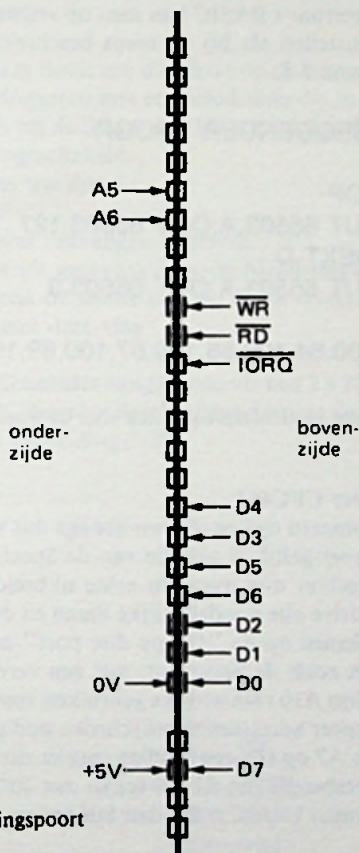
40 OUT 65439,0

50 GO TO 10

Programma 5-6 Testprogramma voor de Spectrum, echter zonder test van de vlag.

Het programma test niet de status van de "data received flag" op de beschreven manier, omdat deze computer niet beschikt over logische operatoren die tot op bit-niveau werken.

De Z80 processor kent echter wel deze instructies en bij het schrijven van de "echte" programma's in machinecode of assembler kan men dus zonder meer deze test doorvoeren.



Afbeelding 5-18 De uitbreidingspoort van de Spectrum.

In BASIC kan de vlag getest worden door de inhoud van de IN te vergelijken met het getal 127. Men zou bijvoorbeeld de regels van programma 5-7 daarvoor kunnen gebruiken.

```
OUT 65503,0
PRINT IN 65439
OUT 65439,0
PRINT IN 65439
```

Programma 5-7 Het testen van de status van de vlag door deze twee keer uit te lezen.

De eerste regel zendt een gegeven naar de MIDI-poort en de vlag moet "H" op datalijn 7 moet tot gevolg hebben dat de op het scherm gezette waarde in elk geval groter is



dan 127. Later wordt de vlag gereset door de derde instructie. De vierde regel leest de waarde op de datalijnen weer uit en daar D7 nu "L" is moet de op het scherm gezette waarde in elk geval kleiner zijn dan 128.

In de eerste regel wordt de waarde 0 ingelezen, maar elk getal tussen 0 en 255 is natuurlijk bruikbaar. Met de Spectrum's BASIC kan men op vrijwel identieke manier een sequencerprogramma samenstellen als bij de reeds beschreven apparaten. Kijk maar naar de lijst van programma 5-8.

## 5 REM SPECTRUM SEQUENCER PROGR

```
10 READ A,B
```

```
15 IF A=0 THEN STOP
```

```
20 OUT 65503,150:OUT 65503,A:OUT 65503,127
```

```
30 FOR D=1 TO B:NEXT D
```

```
40 OUT 65503,134:OUT 65503,A:OUT 65503,0
```

```
50 GO TO 10
```

```
60 DATA 60,100,62,100,64,100,65,100,67,100,69,100,
```

```
71,100,72,200,0,0
```

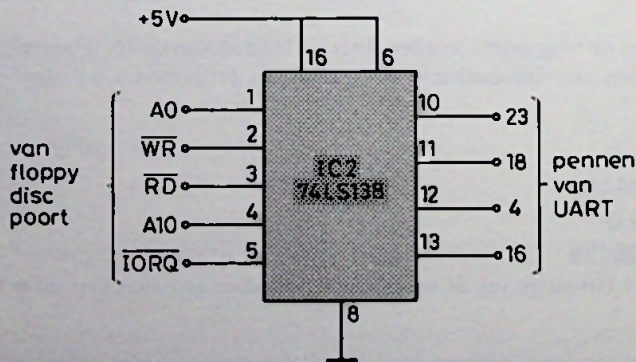
Programma 5-8 Een eenvoudig sequencerprogramma voor de Spectrum.

## Aansluiten op de Schneider CPC464

Ook deze computer is gebaseerd op een Z80 en het ligt dus voor de hand dat zijn manier van aansluiten ongeveer gelijk is aan die van de Spectrum.

Deze computer beschikt echter niet over een echte uitbreidingspoort, maar daar de aansluiting voor een diskdrive alle noodzakelijke lijnen en de +5 volt bevat, kan men de interface zonder problemen op de "floppy disc port" aansluiten.

Deze computer werkt, net zoals de Spectrum, met een vereenvoudigde input/output structuur. Men kan adreslijn A10 rechtstreeks gebruiken voor het besturen van externe schakelingen. Heeft men meer adresseermogelijkheden nodig, dan kan men bovendien de adressen A0 tot en met A7 op een eenvoudige manier decoderen. Een "L" op A10 komt overeen met het adresbereik van &F800 tot en met &FBFF. Men zou in principe elk adres in dit bereik kunnen kiezen, maar dan kunnen er problemen ontstaan als er



Afbeelding 5-19 Adressering bij de Schneider model CPC464.

een diskdrive op de computer wordt aangesloten. De technische gegevens van de fabrikant melden dat alleen de bereiken &F8E0 - &F8FF, &F9E0 - &F9FF, &FAE0 - &FAFF en &FBE0 - &FBFF gebruikt mogen worden.

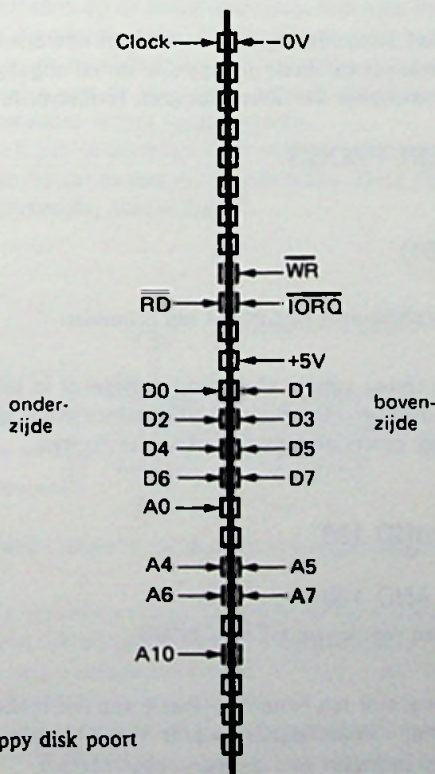
Men kan dus besluiten dat het getal op de lijnen A0 tot en met A7 in het bereik &E0 tot en met &FF moet liggen.

Als men er zeker van is dat er nooit een diskdrive op de computer zal worden aangesloten, kan men de UART adresseren met een schakeling die in principe volledig identiek is aan die welke gebruikt is bij de Spectrum. Uit afbeelding 5-19 volgt dat er alleen andere adreslijnen worden ingeschakeld.

De programmeerinstructies worden:

- READ       &F801   leest ontvangen gegevens
- WRITE     &F801   zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ       &F800   leest de status van de "data received flag"
- WRITE     &F800   reset deze vlag

De diskdrive wordt op de Schneider aangesloten via een 2 x 25-polige vrouwelijke edge-connector met een 0,1 inch "hart tot hart" afstand tussen de printsporen. De aansluitgegevens zijn getekend in afbeelding 5-20.



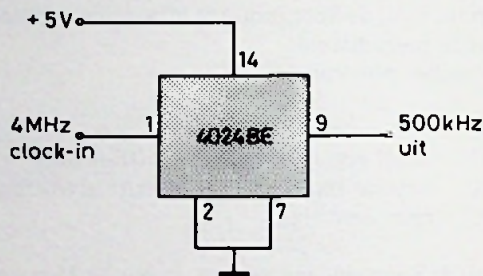
Afbeelding 5-20 De floppy disk poort van de CPC464.



Omdat het niet erg waarschijnlijk is dat een connector wordt gevonden met de geschikte polarisatiesleutel wordt aanbevolen een connector zonder zo'n sleutel te kopen en de boven- en onderzijde duidelijk te merken.

De CPC464 levert een 4 MHz clock-sigitaal op de diskpoort en dit signaal kan via de schakeling van afbeelding 5-21 omgevormd worden tot een 500 kHz clock voor de UART.

De CD4024 wordt hier gebruikt als achtdeler.



Afbeelding 5-21 Een achtdeler zet de 4 MHz clock van de CPC464 om in een bruikbaar 500 kHz signaal.

Programma 5-9 geeft het Schneider-equivalent van het universele testprogramma dat gegevens naar MIDI verzendt en via de gekoppelde in- en uitgangen deze weer inleest. Het enige opmerkenswaardige is dat Schneider geen In-instructie kent, maar een INP.

```
5 REM CPC464 TEST PROGR
10 INPUT A
20 OUT &F801,A
30 PRINT INP(&F801)
40 GOTO 10
```

Programma 5-9 Testprogramma voor de CPC464 van Schneider.

De instructies voor het testen van de vlag zijn samengevat in programma 5-10. Deze computer beschikt wel over een bitsgewijze AND en deze wordt gebruikt om de ingelezen waarde op 128 (vlag geset) of 0 (vlag gereset) te fixeren.

```
OUT &F801,0
PRINT INP(&F800) AND 128
OUT &F800,0
PRINT INP(&F800) AND 128
```

Programma 5-10 Het testen van de vlag bij een CPC464.

Programma 5-11 geeft tot slot een Schneider-versie van het reeds enige malen besproken sequencerprogramma. Zoals steeds, wordt verondersteld dat het aangesloten MIDI-instrument niet is uitgerust met drukgevoelige toetsen.

```

5 REM CPC464 SEQUENCER PROGR
10 READ A,B
20 IF A=0 THEN STOP
30 OUT &F801,150:OUT &F801,A:OUT &F801,127
40 FOR D=1 TO B:NEXT
50 OUT &F801,134:OUT &F801,A:OUT &F801,0
60 GOTO 10
70 DATA 60,250,62,250,64,250,65,250,67,250,69,250,
71,250,72,500,0,0

```

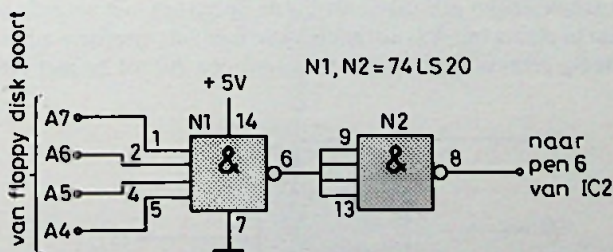
Programma 5-11 Sequencerprogramma voor de Schneider CPC464.

Gebruikt men de Schneider CPC464 wel met een diskdrive, dan wordt de decodeerschakeling iets ingewikkelder. Deze is dan echter identiek aan de schakeling die gebruikt moet worden voor de Schneider CPC6128 welke in de volgende paragraaf aan de orde komt.

### Aansluiten op de Schneider CPC6128

Naast de CPC464 heeft Schneider twee vrijwel identieke computers op de markt gebracht. De CPC664 is gelijk aan de 464 met ingebouwde diskdrive, de CPC6128 is een 664 met 64 kB extra geheugen. Als men een van deze computers, of de 464 met aangesloten drive, wil aansluiten op de MIDI-interface, kan men beter gebruik maken van een iets ingewikkelder decodeersysteem. Het probleem is namelijk dat externe apparatuur, zoals de diskdrive, de datalijn D10 "L" kan maken en met de in de vorige paragraaf beschreven decoder zou dit tot gevolg hebben dat onze MIDI-interface op de meest ongewenste momenten wordt aangesproken.

Dit probleem is gemakkelijk te omzeilen door voor de adressering van de interface alleen de veilige adreslijn A0 tot en met A7 te gebruiken. Deze zijn immers gereserveerd voor externe, systeemvreemde, schakelingen.



Afbeelding 5-22 Uitgebreide decodering bij de CPC-computers bij gebruik van een floppydrive.

Er moet dan een extra decoder komen, afgebeeld in afbeelding 5-22, die wordt aangesloten op de positieve inhibit pen 8 van IC2 uit afbeelding 5-19. Deze pen was tot nu toe bij alle toepassingen verbonden met de +5 volt, maar moet nu van de voeding worden losgekoppeld en aangesloten op de uitgang van de tweede poort uit de 74LS20. Dit IC bevat twee NAND-poorten met elk vier ingangen. De adreslijnen A4 tot en met A7 worden aangesloten op de ingangen van de eerste poort. De uitgang van deze poort



zal naar "L" gaan als alle ingangen "H" zijn.  $A_4 = A_5 = A_6 = A_7 = \text{"H"}$  komt overeen met HEX F. De tweede poort is als inverter geschakeld en de uitgang levert dus een "H" als alle vier de ingangen "H" zijn.

Door deze decodering kan de UART worden aangesproken door adressen in het bereik van &F8F0 tot en met &F8FF. Men zou dus de volgende adressen kunnen gebruiken voor het besturen van de vier functies van de UART:

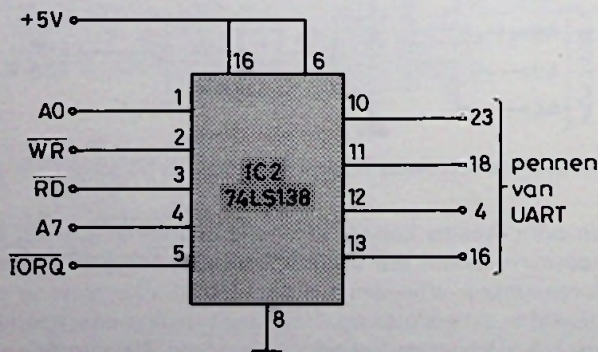
- READ      &F8F1    leest ontvangen gegevens
- WRITE    &F8F1    zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ      &F8F0    leest de status van de "data received flag"
- WRITE    &F8F0    reset deze vlag

Het zal duidelijk zijn dat andere uitbreidingsschakelingen, die van dezelfde adressen gebruik maken, niet aangesproken mogen worden als de MIDI-interface in bedrijf is.

### Aansluiten op de Enterprise 64/128

Twee, op geheugencapaciteit na, identieke computers met een Z80 als kloppend hart. Voornamelijk de 128 is een zeer aanbevelenswaardige computer voor MIDI-toepassingen vanwege de uitstekende grafische mogelijkheden en de meer dan 100 kB vrije RAM.

Deze apparaten voldoen aan de standaard input/output systemen van de processor: de adreslijnen A0 tot en met A7 moeten samen met de IORQ worden gedecodeerd en geven toegang tot 256 bruikbare adressen. In principe zou men dus een vrij uitgebreide decodeerschakeling moeten gebruiken. Gelukkig maakt de interne architectuur van deze machines de zaken veel eenvoudiger. Alle interne schakelingen hebben namelijk adressen die boven 128 liggen. De adreslijn A7 is dus altijd "H" als een interne wordt aangesproken. Externe schakelingen kunnen dus worden aangesproken als A7 en IORQ beide "L" zijn. Bruikbare adressen liggen in het bereik tussen 0 en 127. Men kan dezelfde schakelingen gebruiken als bij de Spectrum met als enig verschil dat A7 wordt gebruikt in plaats van A5. Bovendien kan men, als meerdere adressen noodzakelijk zijn, volledig gebruik maken van de adreslijnen A0 tot en met A6.



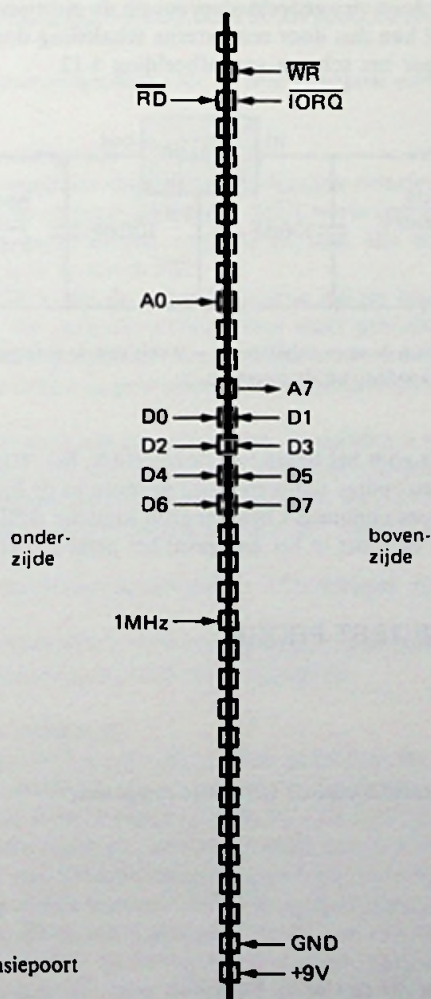
Afbeelding 5-23 Adresdecodering bij de Enterprise computers.

Afbeelding 5-23 geeft het schema van de decodeerschakeling voor de enterprise computers. Men zou onderstaande adressen kunnen gebruiken voor het aanspreken van de UART:

- READ      1      leest ontvangen gegevens
- WRITE    1      zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ      0      leest de status van de "data received flag"
- WRITE    0      reset deze vlag

De uitbreidingspoort van deze computers is getekend in afbeelding 5-24.

Men moet gebruik maken van een vrouwelijke edge-connector met 2 x 33 aansluitingen op een onderlinge afstand van 0,1 inch. De connector zelf is niet voorzien van een pola-



Afbeelding 5-24 Expansiepoort van de enterprise.

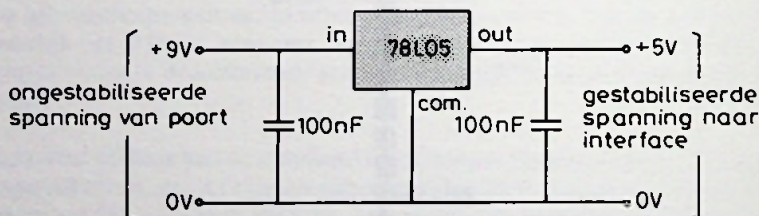


risatiesleutel, de uitsparing in de behuizing van de computer heeft een specifieke vorm die het omkeren van de connector onmogelijk maakt. Er zijn echter connectoren in de handel die zich niets aantrekken van deze alternatieve sleutel en die zich zowel in de ene als in de andere stand zonder problemen in de print nestelen. Merk dus duidelijk de boven en onderzijde.

Uit afbeelding 5-24 volgt dat men om de een of andere reden geen gestabiliseerde spanning +5 volt naar buiten heeft gevoerd. Een ongestabiliseerde spanning van ongeveer +9 volt is alles wat deze computer te bieden heeft. Dus moet men een kleine stabilisator-schakeling bij de interface opnemen, het schema is getekend in afbeelding 5-25.

De geïntegreerde spanningsregelaar van het type 78L05 kan ongeveer 100 milli-ampère aan zijn +5 volt uitgang leveren, hetgeen maar dan voldoende is voor het voeden van de interface.

De systeem-clock van de Enterprise-computers heeft een frequentie van 4 MHz, deze frequentie wordt echter door vier gedeeld alvorens op de uitbreidingspoort te verschijnen. Het 1 MHz signaal kan dus door een externe schakeling door twee gedeeld worden, verwezen wordt naar het schema van afbeelding 5-13.



Afbeelding 5-25 Omzetten van de ongestabiliseerde +9 volt van de enterprisepoort in een gestabiliseerde +5 volt voor het voeden van de interface.

De BASIC-programma's voor het testen van de interface, het testen van de vlag en het samenstellen van een eenvoudige sequencer zijn gegeven in de lijsten van programma 5-12 tot en met 5-14. Deze computers hebben geen logische AND, de IN(0) leest dus de volledige databus uit en moet in het ene geval het getal 255 en in het andere geval 127 opleveren.

## 5 REM ENTERPRISE TEST PROGR

```
10 INPUT A
20 OUT 1,A
30 PRINT IN(1)
40 GOTO 10
```

Programma 5-12 Testprogramma voor de Enterprise computers.

```
OUT 1,0
PRINT IN(0)
OUT 0,0
PRINT IN(0)
```

Programma 5-13 Het testen van de vlag bij Enterprise.

## 5 REM ENTERPRISE SEQUENCER PROGR

10 READ A,B

20 IF A=0 THEN STOP

30 OUT 1,150

40 OUT 1,A

50 OUT 1,127

60 FOR D=1 TO B

70 NEXT

80 OUT 1,134

90 OUT 1,A

100 OUT 1,0

110 GOTO 10

120 DATA 60,200,62,200,64,200,65,200,67,200,69,200,

71,400,0,0

Programma 5-14 Sequencerprogramma voor de twee Enterprise computers.

### Aansluiten op MSX-computers

Interfacen op MSX-machines volgt ongeveer dezelfde principes als bij de in de vorige paragraaf besproken Enterprise-computers. MSX werkt immers ook met een Z80, gebruikt de standaard input/output routines en stelt alle adressen van interne input/output-schakelingen in boven 127.

Het voordeel van MSX is dat de +5 volt voeding wél ter beschikking staat op de expansiepoort en men dus geen extra stabilisator moet gebruiken.

Het beschikbare clock-sigitaal heeft een frequentie van 4 MHz en men moet dus de schakeling van afbeelding 5-21 gebruiken om dit signaal om te zetten in een bruikbaar 500 kHz signaal.

Afbeelding 5-26 geeft de aansluitgegevens van de standaard MSX-poort. Deze is toegankelijk met een 50-polige IDC-connector. Men zou ook gebruik kunnen maken van de cartridge-aansluitingen, die dezelfde signalen naar buiten voeren. Men moet dan een 2 x 25-polige mannelijke edge-connector toepassen, waarbij de contacten op 0,1 inch van elkaar staan.

Het wordt echter aanbevolen voor externe uitbreidingen gebruik te maken van de expansiepoort.

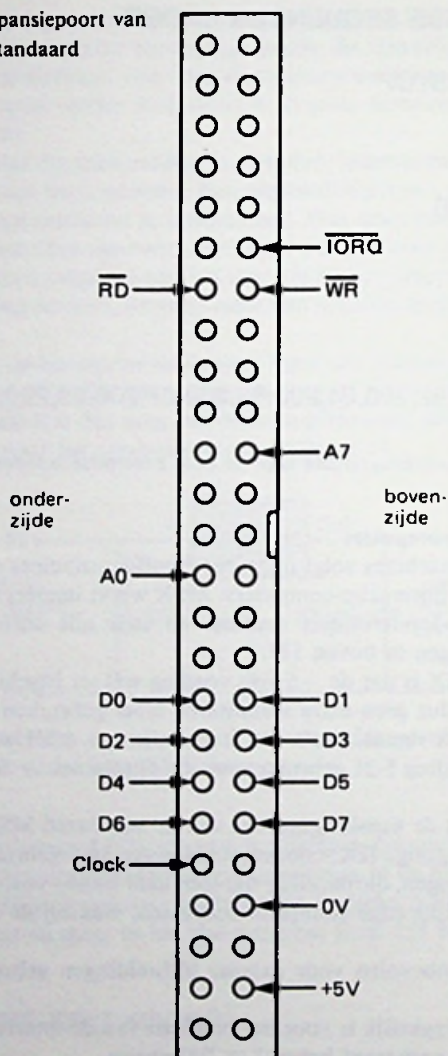
De software die noodzakelijk is voor het besturen van de interface is identiek aan die voor de in de vorige paragraaf besproken Enterprise.

### Aansluiten op MTX-computers

Ook deze computers werken met een Z80 en gebruiken de standaard input/output systemen. Het enige verschil is dat de interne schakelingen die gebruik maken van de input/output-routines worden aangesproken door de lage adressen van de input/output kaart. De fabrikant raadt aan externe schakelingen te adresseren in het gebied van 16 tot en met 30, dat net boven de intern gebruikte adressen ligt. Adres 31 is bezet door de afstandsbesturing van de cassette recorder en hoewel deze computers geen elektronica aan boord hebben die dit adres gebruikt, schijnen er wel software routines aanwezig te zijn die gedurende SAVE- en LOAD-instructies dit adres aanspreken. Men kan dit adres dus maar beter met rust laten. Hetzelfde geldt voor de adressen in het gebied van



Afbeelding 5-26 De expansiepoort van alle volgens de MSX-standaard ontworpen computers.



32 tot en met 255, die gereserveerd zijn voor externe apparatuur zoals diskdrives. Is men er echter zeker van dat er geen diskdrive op de computer zal worden aangesloten dan kan men de adressen in dit gebied gebruiken. Dit heeft dan het voordeel dat de adresdecoder voor de UART zeer eenvoudig wordt. Kijk maar naar afbeelding 5-27, waar adres A6 gebruikt wordt voor het activeren van de positieve enable (pen 6) van de decoder. De schakeling wordt dus aangesproken als A6 "H" wordt, waaruit men kan afleiden dat het nuttige adresbereik ligt tussen 64 en 127.

Men zou bijvoorbeeld de onderstaande twee adressen kunnen gebruiken voor het besturen van de interface:

- READ	65	leest ontvangen gegevens
- WRITE	65	zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ	64	leest de status van de "data received flag"
- WRITE	64	reset deze vlag

De expansiepoort van de MTX-computer is getekend in afbeelding 5-28 en moet via een 2 x 30-polige edge-connector met een contactafstand van 0,1 inch met de interface worden verbonden. Het is mogelijk de connector uit te rusten met een polarisatiesleutel, daar genoemde connectoren met sleutel moeilijk verkrijgbaar zijn zou men gebruik kunnen maken van een 2 x 28-polige connector met sleutel, dezelfde die bijvoorbeeld ook voor de Spectrum wordt gebruikt en wel redelijk leverbaar is. Men heeft dan natuurlijk geen toegang tot alle signalen van de poort, maar deze die voor onze toepassingen van belang zijn vallen wel binnen het bereik van de Spectrum-connector.

De drie testprogramma's zijn samengevat in programma's 5-15a, b en c en voldoen volledig aan de standaardopzet.

#### Programma 5-15a

```
5 REM MTX TEST PROGR
10 INPUT A
20 OUT 65,A
30 PRINT INP(65)
40 GOTO 10
```

#### Programma 5-15b

```
OUT 65,0
PRINT INP(64)
OUT 64,0
PRINT INP(64)
```

#### Programma 5-15c

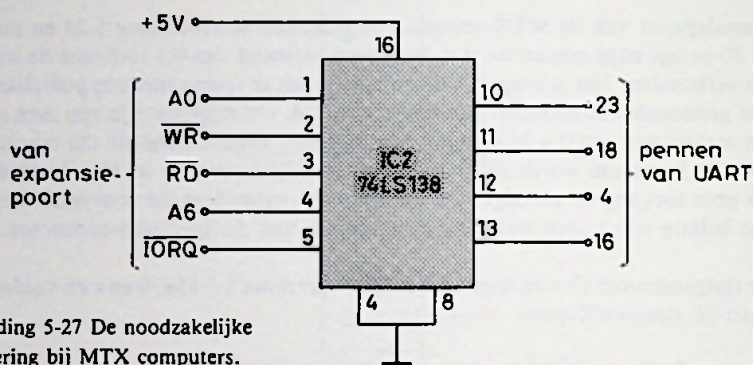
```
5 REM MTX SEQUENCER PROGR
10 READ A,B
20 IF A=0 THEN STOP
30 OUT 65,150:OUT 65,A:OUT 65,127
40 FOR D=1 TO B:NEXT
50 OUT 65,150:OUT 65,A:OUT 65,0
60 GOTO 10
70 DATA
60,300,62,300,64,300,65,300,67,300,69,300,71,300,72,
600,0,0
```

Programma 5-15 Samenvatting van de drie programma's, MIDI-test, sequencer en vlagtest voor MSX computers.

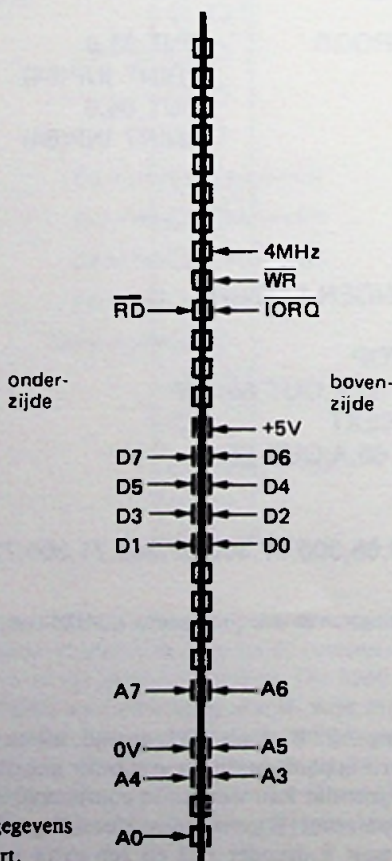
De decoder van afbeelding 5-27 is, zoals reeds gezegd, alleen bruikbaar als men geen diskdrive of andere externe apparatuur op de computer aansluit. Een universele deco-deerschakeling, die ook gebruikt kan worden in combinatie met een drive of overige op de bus aangesloten apparatuur, is getekend in afbeelding 5-29. Deze is samengesteld uit de reeds bekende 3 naar 8 decoder IC2 en een extra poortschakeling rond een



74LS32 vierdubbele OR-poort. Drie poorten van dit IC worden gebruikt voor het decoderen van de adreslijnen A3, A5, A6 en A7. In feite zou men ook één OR-poort met vier ingangen kunnen gebruiken, maar voor zover bekend bestaan deze niet in de 74LS-familie. Vandaar dat zo'n poort is nagebouwd met drie OR-poorten met elk twee in-



Afbeelding 5-27 De noodzakelijke adressering bij MTX computers.



Afbeelding 5-28 Aansluitgegevens van de MTX expansiepoort.

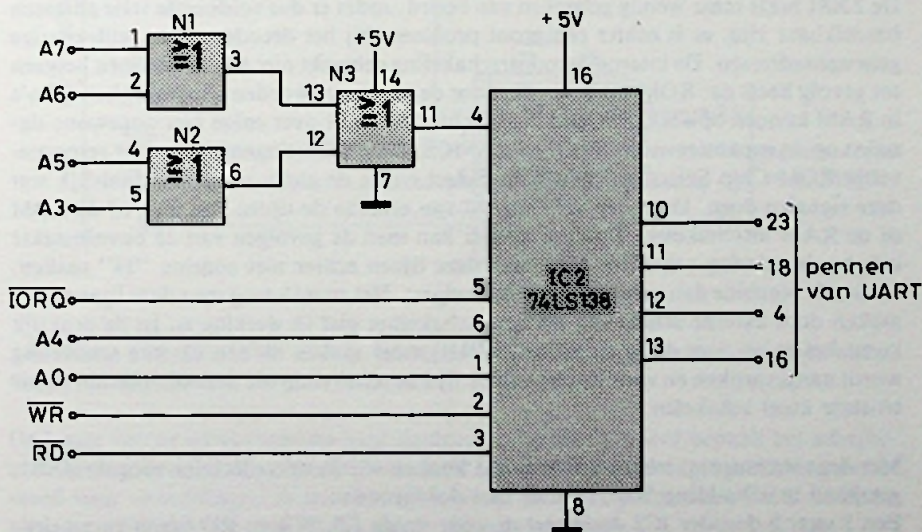
gangen. De uitgang van deze poortschakeling stuurt een van de negatieve enable-ingangen van de decoder, zodat deze schakeling alleen wordt geactiveerd als alle vier de adreslijnen "L" zijn. Adreslijn A4 stuurt rechtstreeks de positieve enable van IC2. Een en ander heeft tot gevolg dat de schakeling kan worden aangesproken door te schrijven naar of te lezen van de adressen 16 en 17. Aan de decodeervoorwaarde wordt ook voldaan als adres 23 wordt aangesproken, men doet er dus verstandig aan geen andere apparatuur aan te sluiten die gebruik maakt van het adresbereik 16 - 23.

Het adresseren samengevat:

- READ 17 leest ontvangen gegevens
- WRITE 17 zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ 16 leest de status van de "data received flag"
- WRITE 16 reset deze vlag

Uiteraard kan men de software van programma 5-15, na het aanpassen van de adressen (65 wordt 17 en 64 wordt 16), zonder meer toepassen.

De uitbreidingspoort van de MTX-computers levert een bruikbaar clock-signaal met een frequentie van 4 MHz, zodat men de schakeling van afbeelding 5-21 kan gebruiken om daaruit een mooi 500 kHz signaal af te leiden.



Afbeelding 5-29 Uitgebreide adressering voor MTX computers met aangesloten diskdrive.

### Aansluiten op de Sinclair ZX81

Hoewel deze computer in feite niet zo geschikt is voor het inzetten als MIDI-besturing, en dat vanwege zijn geringe geheugencapaciteit, wordt dit apparaatje toch besproken omdat een heleboel computeraars van het eerste uur zo'n ZX81 nog ergens in de kast hebben liggen.

Deze computer is bovendien een aanrader voor diegene die het een beetje eng vinden



om zelfgebouwde schakelingen aan hun dure computer te hangen. Men zou dus bijvoorbeeld eerst wat ervaring kunnen opdoen op de ZX81 en later, als men zich wat zekerder voelt, kunnen overschakelen naar duurdere en meer mogelijkheden biedende computers.

Helaas moet men bij het aansluiten van externe apparatuur op de ZX81 andere wegen bewandelen dan het ene zo langzaam aan platgetreden pad van de enkelvoudige adresdecoding. De ZX81 was eigenlijk een zeer innovatieve machine, omdat de ontwerpers tamelijk unieke technieken hebben ontwikkeld om het beetje elektronica waarover de ZX81 beschikt toch de functie van een echte volwaardige BASIC-computer te geven. Hoewel de standaard input/output techniek van de Z80 wordt gevolgd, heeft men daar als BASIC-programmeur niets aan, omdat de BASIC-interpret IN en OUT niet herkent. Externe schakelingen die gebruik maken van de input/output-map kunnen dus niet vanuit BASIC aangesproken worden. Natuurlijk kan men de normale machinecode-instructies van de Z80 wel gebruiken, maar zeker beginnende programmeurs hebben daar niet zo veel aan.

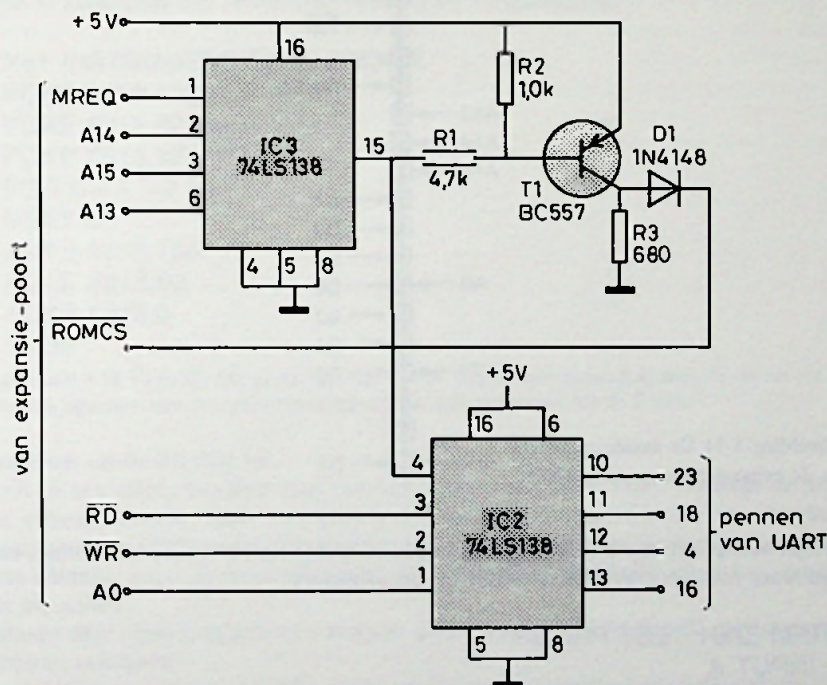
Het enige dat er op zit is de externe schakelingen te laten reageren op het aanspreken van adressen van het geheugen. Men kan dan met de PEEK- en POKE-statements werken, die ZX81-BASIC wel herkent.

De ZX81 heeft maar weinig geheugen aan boord, zodat er dus voldoende vrije adressen beschikbaar zijn. er is echter een groot probleem bij het decoderen van willekeurige geheugenadressen. De interne decodeerschakeling gebruikt niet alle adreslijnen hetgeen tot gevolg heeft dat ROM-adressen die door de processor worden aangesproken echo's in RAM kunnen opwekken. Gelukkig beschikt de ZX81 over enige zeer ongewone signalen op de expansiebus: ROMCS en RAMCS. Deze afkortingen staan voor respectievelijk ROM Chip Select en RAM Chip Select en uit de naam volgt overduidelijk wat deze signalen doen. Door het "H" maken van een van de lijnen kan men of de ROM of de RAM uitschakelen. Op deze manier kan men de gevolgen van de onvolmaakte interne decoding omzeilen. Men mag deze lijnen echter niet continu "H" maken, omdat de machine dan verder elke dienst weigert. Net zo min mag men deze lijnen "L" maken door externe schakeling als deze schakeling niet in werking is. In de praktijk komt het er op neer dat men ROMCS "H" moet maken als een externe schakeling wordt aangesproken en voor de rest van de tijd de schakeling die deze lijn bestuurt naar tri-state moet schakelen.

Met deze wetenschap in ons achterhoofd kunnen wij de adresdecoder voor de ZX81, getekend in afbeelding 5-30, relatief snel doorgronden.

Een 3 naar 8 decoder IC2 decodeert de code op de A0, WR en RD lijnen en zet deze om in vier signalen voor het besturen van de UART. De rest van de adresdecoding wordt verzorgd door een tweede identieke decoder, IC3. Deze decodeert de status van de adreslijnen A13, A14 en A15 en de MREQ. De Y0-uitgang van de decoder stuurt een van de negatieve enable-ingangen van IC2. De tweede negatieve en de positieve enable worden niet gebruikt en worden dus met de massa en de +5 volt verbonden. De decoder moet worden aangevuld met een schakeling die de ROMCS "H" maakt op het moment dat de interface wordt aangesproken. Transistor T1 is aangesloten op de Y0-uitgang van IC3 en spert als de decoder niet actief is. Y0 van IC3 is dan immers "H" en zowel de basis als de emitter van de transistor zijn met de +5 volt verbonden.

De ROMCS-lijn is via de diode D1 verbonden met de weerstand R3. De diode spert echter, zodat de schakeling de status van de lijn niet beïnvloedt. Als de decoder wordt geadresseerd gaat Y0 van IC3 naar "L". De basis wordt nu negatiever dan de emitter, de transistor gaat geleiden en er komt +5 volt over R3 te staan. De diode D1 gaat nu wel geleiden en de spanning over R3 maakt ROMCS "H". De ROM-chip wordt tijdelijk uitgeschakeld.



Afbeelding 5-30 De ZX81 vereist, vanwege zijn uitzonderlijke architectuur, een andere decodeerbenadering.

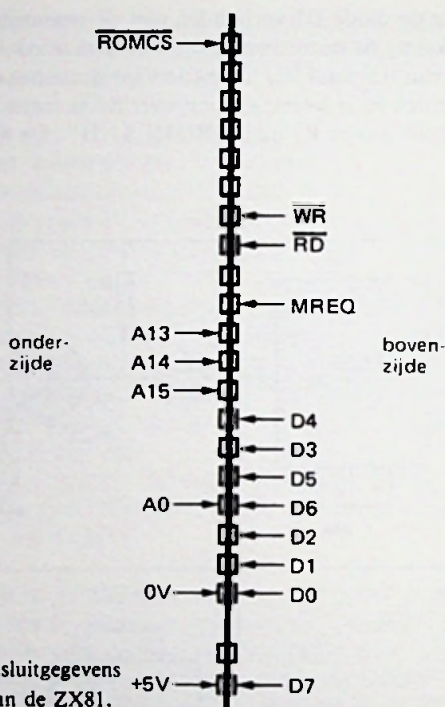
De keuze van de adreslijnen die naar de decoder worden gevoerd bepaalt het adresbereik waarop de schakeling reageert: van 8192 tot 16383. Dit geheugegebied is gereserveerd voor uitbreidingen en de schakeling werkt prima zowel met een ZX81 in basisuitvoering als met een met 16 kB geëxpandeerde machine.

De adressering van de UART:

- |         |      |   |
|---------|------|---|
| - READ  | 8193 | leest ontvangen gegevens                    |
| - WRITE | 8193 | zendt gegevens naar de MIDI-uitgang         |
| - READ  | 8192 | leest de status van de "data received flag" |
| - WRITE | 8192 | reset deze vlag                             |

Afbeelding 5-31 geeft een overzicht van de plaats van de beschikbare signalen op de uitbreidingspoort van de computer.





Afbeelding 5-31 De aansluitgegevens van de expansiepoort van de ZX81.

De lijst van programma 5-16 wordt gebruikt voor het testen van de schakeling, uiteraard weer met doorverbonden MIDI in- en uitgangen.

```
5 REM ZX81 TEST PROGR
10 INPUT A
20 POKE 8193,A
30 PRINT PEEK 8913
40 GO TO 10
```

Programma 5-16 Basistest bij de ZX81.

De werking van de vlag kan worden getest met programma 5-17. De ZX81 heeft geen binaire logische operatoren, de eerst uitgelezen waarde moet groter zijn dan 127, de tweede kleiner dan 128.

```
POKE 8193,0
PRINT PEEK 8192
POKE 8192,0
PRINT PEEK 8192
```

Programma 5-17 Testen van de vlag bij de ZX81.

Omdat deze computer geen READ- en DATA-instructies herkent moet men het sequencerprogramma op een andere manier vorm geven. Men zou bijvoorbeeld de toon- en duurgegevens in een array kunnen opnemen en dit array daarna karakter voor karakter uitlezen. Nadere informatie over deze techniek vindt men in de handleiding van de computer.

De lijst van programma 5-18 kan worden gebruikt als snelle test van de werking van een op de interface aangesloten instrument. Het programma zet de waarde van de mid-  
delste C gedurende een seconde of twee op de MIDI-uitgang.

#### 5 ZX81 INSTRUMENT TEST PROGR

```
10 POKE 8913,150
20 POKE 8913,60
30 POKE 8913,127
40 FOR D= 1 TO 50
50 NEXT D
60 POKE 8913,134
70 POKE 8913,60
80 POKE 8913,0
90 STOP
```

Programma 5-18 Vanwege het gemis aan DATA- en READ-instructies kan men de tot nu toe gehanteerde opbouw van een sequencerprogramma niet toepassen bij de ZX81.

#### Aansluiten op de Sinclair QL

De QL is een ideale machine voor muziektoeepassingen. Niet alleen vanwege de grote vrije geheugenruimte, maar ook omdat deze computer werkt met een zeer moderne processor uit de 68000-serie. De meeste processoren uit deze familie bezitten een 16 bit brede databus, maar de in de QL toegepaste schakeling, de 68008, moet het nog met acht bit stellen.

Ondanks deze beperking kan men met een goede assembler uitstekende sequencerprogramma's schrijven.

Op de expansiebus van de QL staan alle processorsignalen ter beschikking. De 68000-processoren werken met een geheugen-gerelateerde input/output toegang. Gelukkig heeft de niet uitgebreide computer een zeer grote hoeveelheid ongebruikte RAM-adressen, zodat het opzoeken van een vrij gebied geen problemen geeft. In principe kan de QL 1 MB aanspreken, maar daarvan wordt slechts 25% gebruikt. Daarnaast moet men er rekening mee houden dat deze computer niet alle adreslijnen in de interne decodering betreft. Vandaar dat men er verstandig aan doet de niet fysische aanwezige 75% van de adresseercapaciteit niet te gebruiken voor het aanspreken van externe schakelingen. Bovendien wordt een groot deel daarvan toch al gereserveerd voor machine-eigen uitbreidingen.

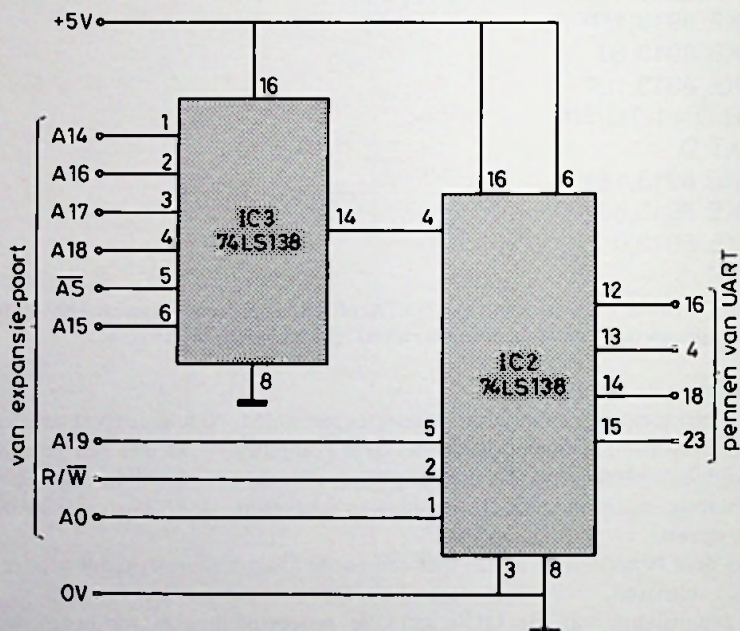
De in deze paragraaf beschreven decoder maakt gebruik van de adressen die ter beschikking staan voor de cartridgepoort. Dat heeft natuurlijk wel als consequentie dat men de MIDI-interfaces niet samen kan gebruiken met een cartridge. Een groot bezwaar is dat niet, want deze situatie zal zich in de praktijk toch nooit voordoen.

Uitgaande van deze basisgegevens kan men een schakeling volgens afbeelding 5-32 ontwerpen. Deze lijkt erg op de allereerste decoder die in dit hoofdstuk besproken is, namelijk die voor de Commodore- en BBC-computers.



Helaas beschikt de QL niet over een gedecodeerde uitgang, die "L" wordt als men een adres in het geselecteerde gebied aanspreekt. Vandaar dat er meer lijnen geselecteerd moeten worden, een taak die wordt toevertrouwd aan IC3. De Y1-uitgang van deze decoder werkt in op een van de negatieve enable-ingangen van de bovenste schakeling. Naast de adreslijnen A14 tot en met A18 decodeert IC3 ook nog eens de  $\overline{A5}$ -lijn. Deze lijn wordt bij geen enkele andere computer aangetroffen, is dus eigen aan de QL en wordt "L" als een geldig adres op de adresbus wordt gezet.

Door deze lijn in de decoding te betrekken zijn wij er zeker van dat de interface niet zal reageren op stoorsignalen.



Afbeelding 5-32 Adresdecoder voor gebruik bij de Sinclair QL.

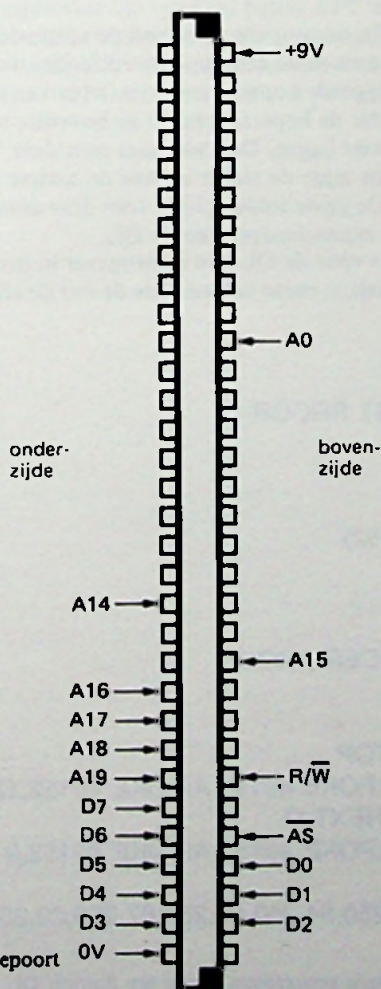
Bij de meeste processoren is zo'n voorziening niet noodzakelijk, omdat zij alleen werken met asynchrone data-overdracht. De 68008 kan echter ook asynchroon werken. Deze werkwijze kan voordelig zijn bij het aansturen van externe schakelingen, omdat het nogal eens wil voorkomen dat deze de hoge snelheid van de processor niet kunnen bijbenen. Bij de proto-types van de MIDI-interface leek het er op of de 6402 UART geen problemen heeft met de hoge clocksnelheid van de processor. Zou men echter een exemplaar in handen krijgen dat wat trager van begrip is dan zijn meeste soortgenoten, dan kan de snelheid van de processor bij het besturen van de perifere schakelingen gereduceerd worden door een diode te verbinden tussen uitgang 14 van IC3 en de VPA-ingang van expansiepoort. De kathode van de diode (dat kan een gewone 1N4148 zijn) moet op IC3 van afbeelding 5-32 aangesloten worden.

De adresdecoder maakt de interface aanspreekbaar in het adresbereik 49152 tot en met 65535.

Zo zou men de twee onderstaande adressen als volgt kunnen gebruiken:

- READ 49152 leest ontvangen gegevens
- WRITE 49152 zendt gegevens naar de MIDI-uitgang
- READ 49153 leest de status van de "data received flag"
- WRITE 49153 reset deze vlag

De aansluitgegevens van de expansiepoort zijn getekend in afbeelding 5-33. Deze poort is bedoeld voor een 64-polige connector volgens DIN41612. Dit is een standaard stekker die goed verkrijgbaar is. Men moet er echter op bedacht zijn dat er twee uitvoeringen van deze stekker op de markt zijn. In principe heeft een DIN41612 stekker 96 contacten, verdeeld over drie rijen van elk 32 contacten.



Afbeelding 5-33 De expansiepoort van de QL.



In de meeste gevallen worden er echter maar twee rijen contacten gebruikt. Er zijn stekers waarbij de twee naast elkaar liggende rijen aanwezig zijn, namelijk a en b, en stekers waar de twee uiterste rijen (a en c) in gebruik zijn. Voor de QL moet men type a + b aanschaffen.

Het aansluiten van de steker op de poort is tamelijk moeilijk omdat de poort diep in de behuizing van de computer is verborgen. Er zit niets anders op dan de steker te monteren op een stukje print van de juiste breedte en deze combinatie door de uitsparing van de kast te duwen. Deze print moet natuurlijk voorzien zijn van koperen baantjes, die de juiste pennen van de steker met de andere zijde van de print verbinden. De kabel-aders kunnen dan rechtstreeks op de print worden gesoldeerd.

Voor zo'n "connector-expander" kan men gebruik maken van een plaatje dubbelzijdige print van ongeveer 10 cm lang en 8,6 cm breed. Aan weerszijden van de print worden 32 dunne inktsporen aangebracht op een onderlinge afstand van 0,1 inch ofwel 2,54 mm.

Wie opziet tegen het zelf etsen van een print kan de volgende oplossing overwegen. In de handel zijn kleine zogenoemde experimenteerprintjes, die reeds voorzien zijn van op 0,1 inch van elkaar liggende koperen baantjes. Men kan twee van deze printjes op elkaar lijmen en wel zo dat de kopersporen op de bovenste print precies tegenover de sporen op de onderste print liggen. Daarna zaagt men deze "dubbelzijdige print" op maat, soldeert aan de ene zijde de steker en aan de andere zijde de draadjes van de kabel naar de interface. De juiste soldeerplaats voor deze draadjes volgt uit de tekening van afbeelding 5-33, de expansiepoort van de QL.

De drie testprogramma's voor de QL zijn samengevat in programma 5-19. Deze zijn aangepast aan het QL-dialect, maar volgen voor de rest de reeds diverse keren besproken principes.

#### **Programma 5-19a**

```
5 REM QL MIDI TEST PROGR
10 CLS
20 INPUT A
30 POKE 49152,A
40 PRINT PEEK(49152)
50 GO TO 10
```

#### **Programma 5-19c**

```
POKE 49152,0
PRINT PEEK(49152)
POKE 49153,0
PRINT PEEK(49153)
```

#### **Programma 5-19b**

```
5 REM QL SEQUENCER PROGR
10 RESTORE
20 READ A,B
30 IF A=0 THEN STOP
40 POKE 49152,150:POKE 49152,A:POKE 49152,127
50 FOR D=1 TO B:NEXT D
60 POKE 49152,134:POKE 49152,A:POKE 49152,0
70 GO TO 10
80 DATA 60,250,62,250,64,250,65,250,67,250,69,250,
71,250,72,500,0,0
```

Programma 5-19 De drie basis programma's voor een Sinclair QL.

### **Aansluiting overige computers**

Wie de moeite heeft genomen alle vorige paragraafjes te bestuderen zal waarschijnlijk weinig moeite hebben bij het ontwerpen van een geschikte adresdecoder voor een computer die niet in dit boek is besproken. Men moet natuurlijk wel op de hoogte zijn van enige eigenschappen van het apparaat, zoals de aansluitingen op de expansiepoort, de manier waarop input/output-routines worden afgehandeld (als deel van het geheugen of via eigen adressen) en welke adressen reeds in gebruik zijn voor interne input/output schakelingen.

Bovendien zijn er computers die zich niet helemaal houden aan de door de processor gestelde standaarden en specifieke eigen signalen op de poort zetten.

Zo kent bijvoorbeeld de Electron, toch zeer verwant aan de BBC model B, geen page-select lijnen maar ongecodeerde adreslijnen A8 en A15. Zou men een interface voor deze computer moeten ontwerpen, dan zou men dus deze lijnen extern moeten decoderen om een kunstmatige page-select lijn voor het bereik &FC ter beschikking te krijgen. De meeste computers bieden een bruikbaar clocksignaal aan op de poort. Men moet er echter absoluut zeker van zijn dat dit signaal een mooie, ononderbroken blok golf is. Gebruik bij twijfel steeds een van de besproken externe clock-oscillatoren.



# Hoofdstuk 6

---

## Van MIDI naar CV

### Inleiding

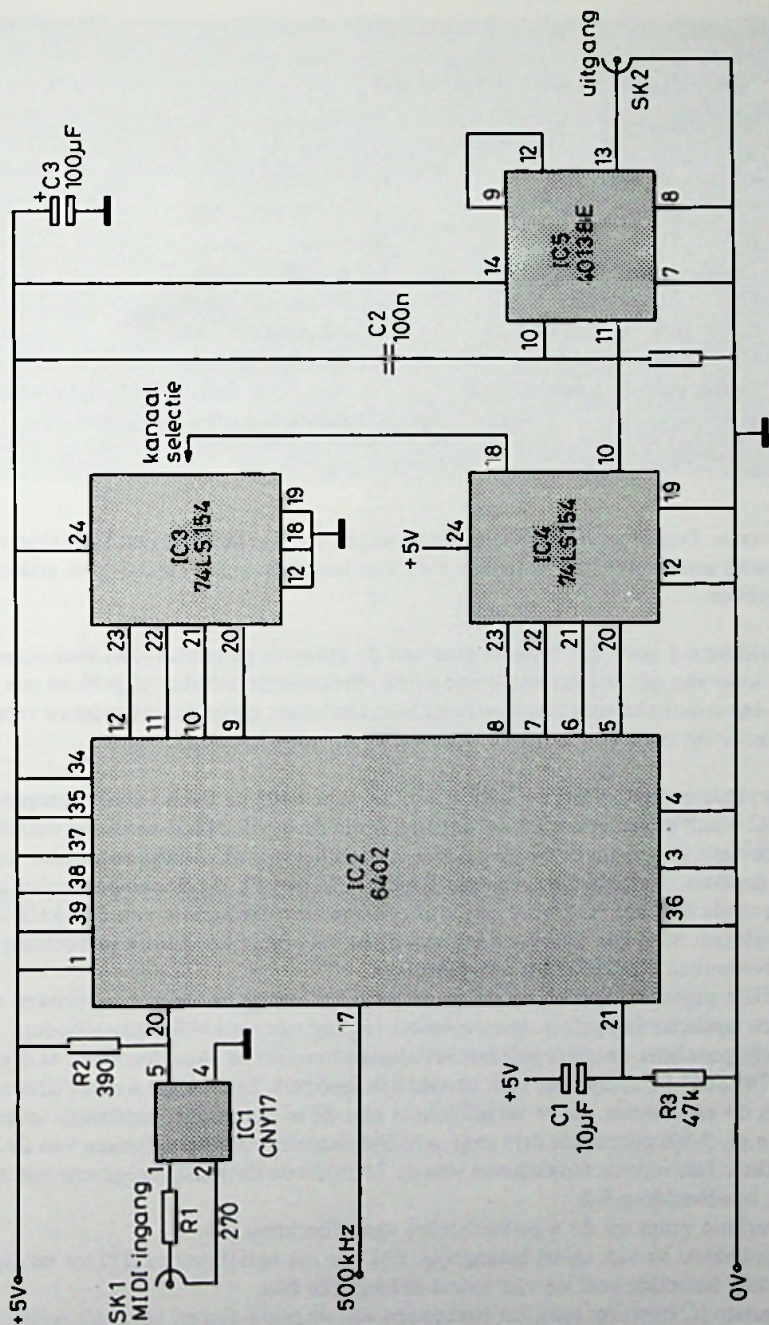
Het enige nadeel van de MIDI-standaard is dat de ontwerpers ervan weinig medelijden hebben weten op te brengen voor de bezitters van oude, MIDI-loze elektronische muziekinstrumenten. Het is namelijk alles behalve gemakkelijk een "oud" instrument te koppelen aan een ultramoderne MIDI-soortgenoot. Nu laten wij de in hoofdstuk 1 reeds behandelde verschillen tussen de aansturingssystemen van deze oudere instrumenten zelfs buiten beschouwing, anders zou het helemaal te moeilijk worden. Wij beperken ons in dit hoofdstuk tot de vraag hoe wij een muziekinstrument met een positieve gatepuls en een logaritmisch werkende CV-ingang kunnen aansturen uit bijvoorbeeld het toetsenbord van een MIDI-instrument.

De eerste vraag die zich opdringt is of het veel nut heeft een interface te beschrijven die seriële digitale MIDI-informatie omvormt in enerzijds een of meerdere gatepulsen en anderzijds een analoog CV-sigitaal. Die vraag kan met een stellig ja worden beantwoord, immers het zelfbouwen van goede elektronische muziekschakelingen is met het grote aanbod aan gespecialiseerde geïntegreerde schakelingen wijd verbreid. Men treft echter in de vakliteratuur maar weinig voorbeelden aan van zelfbouwschakelingen met een MIDI-besturing. De kwaliteiten van de zelfgebouwde schakelingen zijn echter zonder meer te vergelijken met deze van de dure, MIDI-bestuurde fabrieks-apparaten en het zou zonde zijn als men bijvoorbeeld een zeer goede zelfgebouwde drumsynthesizer niet zou kunnen combineren met een even goede gekochte snaarsynthesizer met MIDI. De omgekeerde actie, namelijk het omvormen van analoge informatie die door "klassieke" instrumenten wordt geleverd in digitale MIDI-data, is niet erg zinvol. Zo'n situatie zal zich immers in de dagelijkse praktijk nooit voordoen en zal dan ook niet verder aan de orde komen.

### Het terugwinnen van gatepulsen

Zonder gatepulsen blijft elke analoge synthesizer spraak- en toonloos en het eerste wat wij dus moeten behandelen is een systeem waardoor het mogelijk wordt uit de noot-aan en noot-uit informatie van MIDI een gatepuls af te leiden. De eerste stap is het omzetten van de seriële MIDI-informatie in parallele gegevens. Daarvoor kunnen wij natuurlijk de reeds zeer bekende UART inschakelen. Vervolgens moeten de acht parallele bits zo gedecodeerd worden, dat er alleen een uitgangspuls ontstaat op het moment dat MIDI de noot-aan code uitzendt.

Dit is alles wat er nodig is als het systeem in de omni-mode werkt. De gategenerator zal dan op elke noot-aan code reageren en steeds een gatepuls opwekken. In de praktijk zal men daar echter niet zo erg veel aan hebben. In de meeste gevallen zal het immers de bedoeling zijn dat het analoge instrument dat men wil besturen met één kanaal van de MIDI-opstelling meespeelt en niet met alle stemmen. Of het zou zelfs kunnen voorkomen dat men een specifiek MIDI-kanaal alleen voor het aansturen van de drum wil



Afbeelding 6-1 Basisschema van de interface, die een gatepuls en (met enige uitbreidingen) een CV-spanning kan genereren.



## ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 6-1

Weerstanden, 1/4 W:	IC2 6402
R1 270 $\Omega$	IC3 74 LS 154
R2 390 $\Omega$	IC4 74 LS 154
R3 47 k $\Omega$	IC5 CD 4013 BE
R4 10 k $\Omega$	Diversen:
Condensatoren:	1 x 6-pens IC-voet
C1 10 $\mu$ F, 25 V	2 x 24-pens IC-voet
C2 100 nF, MKH	1 x 14-pens IC-voet
C3 100 $\mu$ F, 16 V	1 x 40-pens IC-voet
Geïntegreerde schakelingen:	1 x standaard 5-polig DIN-chassisdeel
IC1 CNY 17	1 x standaard tulp-chassisdeel

reserveren. Dus moet de basisschakeling uitgebreid worden met een kanaaldecoder en eventueel een schakelaar, waarmee men kan instellen welke kanaal men gedecodeerd wil hebben.

Afbeelding 6-1 geeft het basisschema van de gatepuls generator. Dit basisschema zal in de loop van dit verhaal met enige extra schakelingen worden uitgebreid om te voldoen aan specifieke voorwaarden zoals kanaalselectie, gatepuls verbreder of versmaller en reactie op twee verschillende noot-aan/noot-uit afspraken.

Zoals reeds gezegd vormt de UART van het type 6402 de basis van de gategenerator. Het IC wordt alleen gebruikt als ontvanger, die de seriële MIDI-woorden omzet in parallelle data. De ingangen die de kenmerken van het woord vastleggen worden ingesteld op 8 databits, 1 stopbit, en geen pariteitsbit. Op pin 17, de clockingang voor de ontvangerzijde van het IC, moet een blokgolf met een frequentie van 500 kHz worden aangesloten. Men kan daarvoor een van de in het vorige hoofdstuk (afbeelding 5-3 en 5-4) besproken clockgeneratoren gebruiken.

De MIDI-gegevens worden op de eveneens in het vorige hoofdstuk besproken manier via een optische koppelaar aan de seriële ingang van de UART aangeboden.

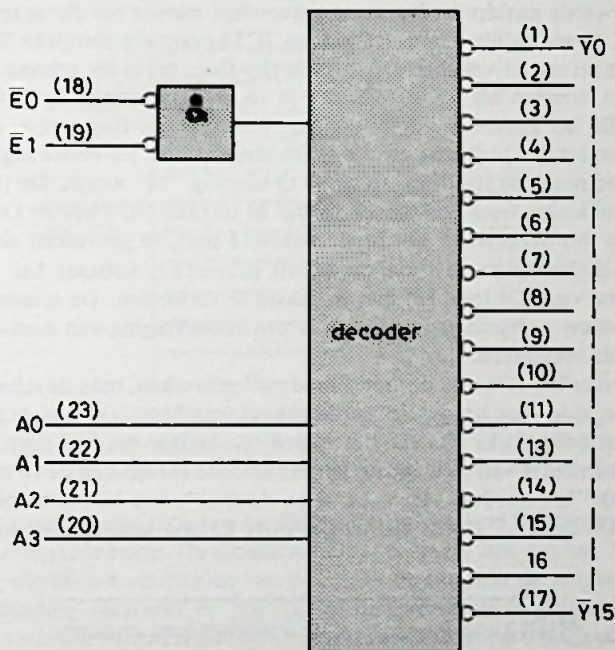
De acht parallelle databits worden vervolgens bewerkt in twee decoders. IC3 en IC4, twee 74LS154 IC's, zijn vier naar zestien lijn decoders. In principe werken deze schakelingen op een manier die te vergelijken is met de in het vorige hoofdstuk (afbeelding 5-8 t.e.m. 5-10) genoemde drie naar acht lijn decoder voor het adressen van de MIDI-interface. Het interne blokschema van de 74LS154 en de aansluitgegevens zijn samengevat in afbeelding 6-2.

De werking volgt uit de waarheidstabel van afbeelding 6-3.

IC3 decodeert de vier minst belangrijke bits van het MIDI-woord (D0 tot en met D3), IC4 doet hetzelfde met de vier meest belangrijke bits.

Dit laatste IC heeft tot taak het herkennen van de nood-aan en nood-uit codes, die op de vier MSB's verschijnen. Nu doet zich hier een kleine complicatie voor en dat is dat sommige MIDI-apparaten twee verschillende codes leveren, namelijk BIN 1001 voor

Het schema van afbeelding 6-1 is geschikt voor het decoderen van twee identieke codes. Uit de waarheidstabel van afbeelding 6-3 volgt dat uitgang Y9 van IC4 "L" wordt als de code op de vier belangrijkste bits gelijk wordt aan BIN 1001.



**Afbeelding 6-3** Waarheidstabel, waaruit de volledige werking van de vier naar zestien decoder 154 kan worden afgeleid.

[illegible]



Deze code verschijnt overigens alleen in het eerste en laatste woord van een MIDI-informatiegroep. Alle overige informatie heeft een afwijkende herkenningcode.

De uitgang van IC4 kan echter niet rechtstreeks als gatepuls gebruikt worden. Op de eerste plaats heeft de puls de verkeerde polariteit en op de tweede plaats verschijnen er twee zeer smalle pulsen op het moment dat de herkenningcodes voor noot-aan en noot-uit worden uitgezonden. De bedoeling is dat deze twee smalle negatieve naaldpulsen worden omgezet in een brede positieve puls die start bij de eerste naaldpuls en verdwijnt bij de tweede naaldpuls. De meest eenvoudige manier om dat te realiseren is de uitgang van IC4 aan te sluiten op een flip-flop. IC5 bevat twee identieke flip-flop's van het type D en men zou bijvoorbeeld de tweede flip-flop, die in dit schema niet gebruikt wordt, kunnen inzetten als frequentiedeler in de clockgenerator op basis van een 1 MHz kristal. Bij het aanzetten van de voeding wordt de flip-flop gereset door het netwerk R4/C2, zodat de Q-uitgang van de schakeling "L" is. De eerste negatieve naaldpuls van IC4 activeert de flip-flop, zodat de Q-uitgang "H" wordt. De tweede naaldpuls laat de schakeling weer omklappen, zodat de uitgang "L" wordt. De twee naaldpulsen worden dus omgezet in een brede positieve puls, te gebruiken als gatepuls.

Als men de schakeling in de omni-mode wil gebruiken, volstaat het de negatieve enable-ingangen van IC4 (pen 18) met de massa te verbinden. De schakeling zal dan steeds een positieve gatepuls genereren als er een opeenvolging van noot-aan en noot-uit codes wordt ontvangen.

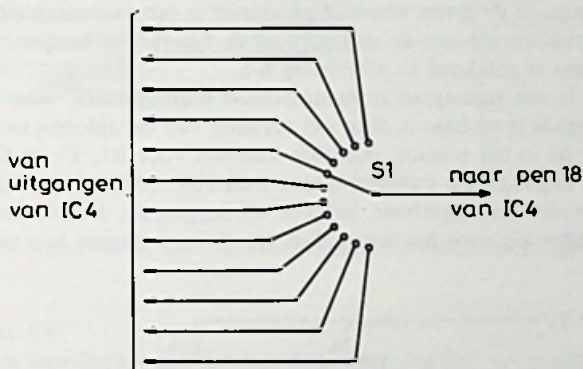
Als men de schakeling echter in de mono-mode wil gebruiken, mag de schakeling alleen reageren als de code voor het geselecteerde kanaal verschijnt. Deze code zit verborgen in de vier minst belangrijke bits van het woord en vandaar dat IC3 deze vier signalen decodeert. Afhankelijk van de uitgezonden kanaalcode zal een van de 16 uitgangen van deze schakeling "L" worden. Het volstaat nu de enable van IC4 te verbinden met de uitgang van IC3 die "L" wordt als het gewenste kanaal wordt uitgezonden.

MIDI kanaal	IC3 uitgang/pen nummer	
1	0	1
2	1	2
3	2	3
4	3	4
5	4	5
6	5	6
7	6	7
8	7	8
9	8	9
10	9	10
11	10	11
12	11	13
13	12	14
14	13	15
15	14	16
16	15	17

Tabel 6-1 Verband tussen MIDI-kanaal, logische uitgang- en pennummer van IC3.

Het verband tussen kanaalnummer, lage uitgang van IC3 en pennummer waarop deze uitgang beschikbaar is is overzichtelijk samengevat in tabel 6-1.

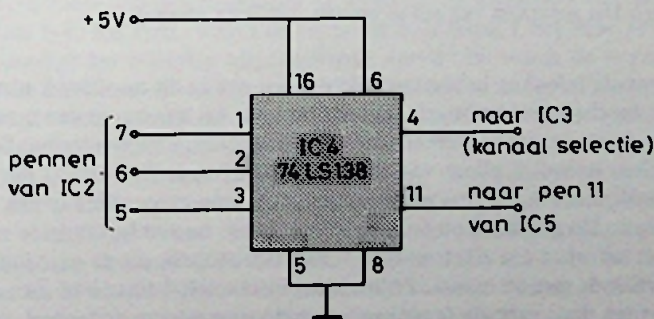
Als het de bedoeling is vaak van kanaal te wisselen is het aan te raden de uitgangen van IC3 aan te sluiten op de twaalf contacten van een 1 x 12 standen schakelaar en het moedercontact te verbinden met de enable van IC4. Een en ander is schematisch voorgesteld in afbeelding 6-4.



Afbeelding 6-4 Het selecteren van een kanaal door middel van een omschakelaar die een uitgang van IC3 doorverbindt met de ingang van IC4.

In principe zou men natuurlijk een 1 x 16 standen schakelaar moeten toepassen, maar deze zijn nauwelijks te koop. De schakelaar moet er eentje zijn van het "verbreek voor maak"-type, die bij het verdraaien van de as van de ene naar de volgende stand eerst de oude verbinding verbreekt en pas dan de nieuwe verbinding maakt. Er zijn ook "maak voor verbreek" schakelaars op de markt, die tijdens het omschakelen even twee naast elkaar liggende contacten kortsluiten. Een handeling waar IC3 nogal fundamentele bezwaren tegen heeft.

Wat te doen als de aanwezige MIDI-apparatuur BIN 1000 en BIN 1001 levert als codes voor noot-aan en noot-uit?

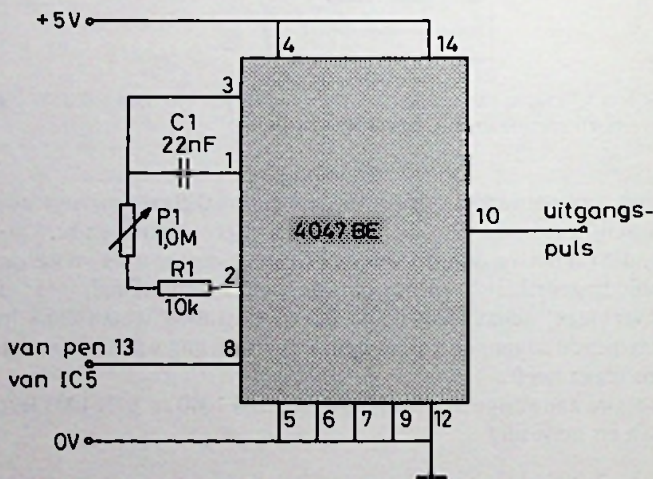


Afbeelding 6-5 Het gebruik van een 138 als IC4 in het basisschema van afb. 6-1.



Onderbreek de verbinding tussen pen 23 en IC4 en pen 8 van de UART. Leg pen 23 aan de +5 volt. Bit 4 wordt nu niet meer in de decoding betrokken, zodat de schakeling zowel op BIN 1000 als op BIN 1001 reageert. In feite heeft men dus een 3 naar 8 omzetter. Zo'n IC zijn wij al eens tegen het lijf gelopen en inderdaad kan men de 74LS154 volgens het schema van afbeelding 6-5 vervangen door een iets goedkopere 74LS138. Voor nadere gegevens over dit IC wordt verwezen naar het vorige hoofdstuk. Bij het aansturen van sommige apparaten kunnen problemen ontstaan doordat de schakeling van afbeelding 6-1 een te lange gatepuls levert. Men moet dus de lengte van de puls verkleinen en de meest eenvoudige manier is een monostabiele multivibrator met regelbare pulsbreedte aan de uitgang van de flip-flop te hangen. Een zeer goed bruikbaar schema is getekend in afbeelding 6-6.

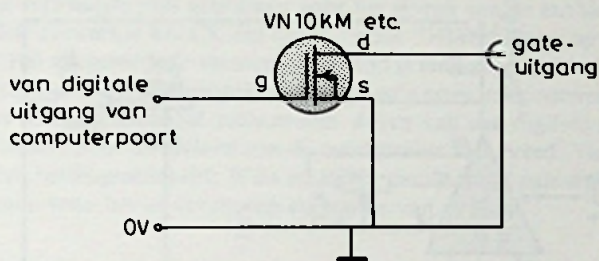
De CD4047BE is een geïntegreerde monostabiele multivibrator, waarvan de breedte van de uitgangspuls instelbaar is door het variëren van de tijdconstante van een RC-netwerkje. Met de in het schema vermelde waarden voor R1, P1 en C1 kan men de breedte van de uitgangspuls instellen tussen 1 en 100 milliseconde. De monostabiele multivibrator is niet hertriggerbaar, hetgeen wil zeggen dat men de schakeling zowel voor het verbreden als voor het versmallen van de ingangspuls kan toepassen.



Afbeelding 6-6 Het genereren van een in breedte instelbare gatepuls.

Hoewel wij in de inleiding hebben gesteld dat wij ons in dit hoofdstuk niet bezig houden met het beschrijven van interfaces bedoeld voor het aansturen van synthesizers die niet volgens de standaarden werken, maken wij een kleine uitzondering. Sommige apparaten wijken namelijk alleen van de standaard af voor wat betreft het niveau van de gatepuls. Bij deze apparaten moet een gatepuls omgezet worden in een kortsluiting naar de massa. De positieve uitgangspuls van de tot nu toe behandelde schakelingen moet dus als het ware een elektronische schakelaar sluiten, die de gate-ingang van het apparaat verbindt met de massa. Zo'n elektronische schakelaar kan men het eenvoudigst ontwerpen door gebruik te maken van een vrij moderne onderdeel, namelijk een VMOS-transistor. Het schema is getekend in afbeelding 6-7.

De gate van dit onderdeel wordt aangesloten op de uitgang van de schakeling die de positieve gatepuls genereert. De source ligt aan de massa, de drain gaat naar de gate-ingang van de synthesizer. Een positieve puls op de gate brengt de VMOS-transistor in geleiding. Deze heeft dan een zeer lage inwendige weerstand en de uitgang wordt met de massa verbonden.



Afbeelding 6-7 Omzetten van logische signalen in een kortsluiting naar de massa.

### Van MIDI naar CV

Dank zij de logaritmische karakteristieken van de CV-ingang van de moderne synthesizers is het tamelijk eenvoudig een schakeling te ontwerpen, die de seriële digitale gegevens die door de MIDI worden geleverd omzet in een analoge spanning. Alle CV-ingangen werken met een gestandaardiseerde karakteristiek van 1 volt per octaaf. Omgekeerd komt dit neer op 83,33 millivolt per halve toon. Het enige dat er dus moet gebeuren is het aansluiten van een digitaal naar analog omzetter op de uitgangen van de UART en deze schakeling zo afregelen dat elke verandering in de digitale code van 1 minst belangrijk bit overeen komt met een spanningsdaling of -stijging van 83,33 millivolt.

Uiteraard moet de digitale schakeling uitgebreid worden met een soort herkenningssysteem, dat de tooninformatie uit het volledige MIDI-pakket selecteert en deze gegevens inleest in de digitale buffer van de DAC.

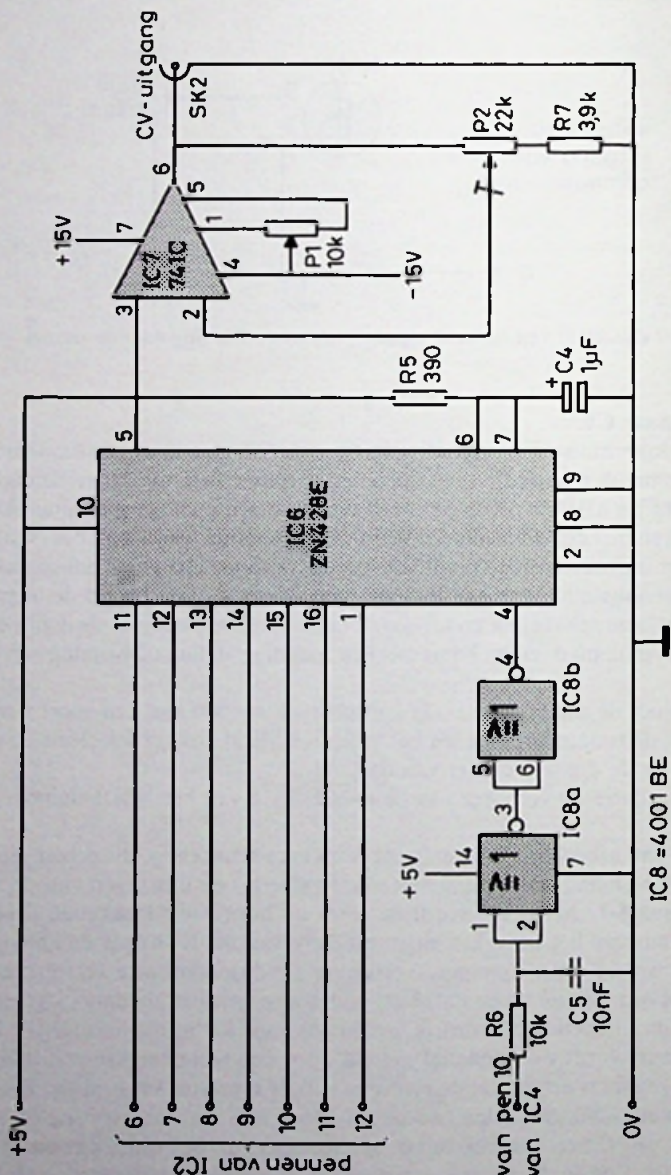
De tooninformatie zit verborgen in de tweede byte van het MIDI-signaal.

Het schema van afbeelding 6-8 geeft een bruikbare schakeling, die echter niet zelfstandig kan werken maar wordt aangesloten op enige in- en uitgangen van de schakeling van afbeelding 6-1. Als DAC wordt de reeds uit hoofdstuk 1 bekende ZN428E ingeschakeld. Vanwege het beperkte uitgangsbereik van dit IC wordt de analoge uitgang aangesloten op een extra spanningsversterker rond operationele versterker IC7.

De UART levert slechts zeven databits, zodat men een van de data-ingangen van de DAC moet uitschakelen. Natuurlijk kiezen wij voor het minst belangrijke bit (pen 2) en deze ingang wordt op nonactief gesteld door een rechtstreekse verbinding met de massa. Het gevolg is echter dat de resolutie van de omzetter verdubbelt. Elke verandering van het nu LSB geworden tweede bit levert een spanningsssprong op de uitgang van 20 millivolt. De versterking van de schakeling rond IC7 moet dus nu de helft kleiner zijn dan bij de in hoofdstuk 1 besproken schakeling. Uiteraard is de versterker voorzien van een offsetcompensatie (P1) en een instelpotentiometer P2 waarmee de versterking op precies de gewenste waarde kan worden ingesteld.



Zoals bekend bezit de ZN428 een ingebouwd buffergeheugentje, waarin de data op de ingangen kunnen worden overgenomen. Nu levert de UART een continue datastroom af en de juiste gegevens moeten door middel van een puls op de "enable"-ingang pen 4 in het buffergeheugen worden ingelezen. Deze ingang is hoogactief, er moet dus een



Afbeelding 6-8 Uitbreiding van de basisschakeling van afb. 6-1 voor het genereren van een CV-spanning.

smalle positieve puls worden gegenereerd. De uitgang op pin 10 van IC4 uit afbeelding 6-1 levert een negatieve puls als een noot-aan of noot-uit code wordt ontvangen. Deze "L" blijft op deze uitgang aanwezig, totdat een nieuwe byte binnenkomt en die bevat uiteraard de nootinformatie. Helaas gaat de uitgang van de decoder naar "H" alvorens de UART tijd heeft gehad de nieuwe ontvangen gegevens om te zetten in parallelle data. Men moet dus het signaal op de uitgang van IC4 op de een of andere manier vertragen en deze vertraagde puls gebruiken voor het sturen van de enable van de DAC. Vandaar het RC-netwerkje R6/C5, dat de "L" naar "H" overgang op de uitgang van IC4 ongeveer 100 microseconde vertraagd. Die tijd is lang genoeg om de UART rustig zijn gangetje te laten gaan. Natuurlijk is de door zo'n eenvoudig netwerkje vertraagde puls niet meer geschikt voor het rechtstreeks sturen van een digitale schakeling. De voorflank is immers door de invloed van de condensator zeer breed. Vandaar dat twee poorten worden tussengeschakeld, IC8a en IC8b, die de trage puls over C5 omzetten in een steile puls voor het besturen van de enable van de DAC.

### Afregelen

De eerste stap bij het afregelen van de unit is het met behulp van een voltmeter instellen van de twee instelpotentiometers P1 en P2. Het is niet aan te raden de interface in dit stadium al te verbinden met een MIDI-instrument. Men kan veel beter een computer gebruiken voor het genereren van de MIDI-informatie, omdat men dan veel gemakkelijker de juiste toonwaarden kan invoeren die nodig zijn voor het afregelen van de unit. Natuurlijk moet men dan een testprogramma schrijven, dat niet alleen de juiste nootwaardes produceert, maar de volledige sequentie van noot-aan, noot-waarde en noot-uit.

Zet de twee instelpotentiometers in de middenstand en sluit de op een bereik van + 10 volt geschakelde voltmeter aan op de CV- uitgang van de interface. Voer nu een tamelijk hoge noot-waarde in, die een veelvoud is van 12. 72 is een uitstekend bruikbare waarde. RUN het programma en regel de uitgang van de schakeling met P2 af op een spanning van + 6 volt. Voer vervolgens een lage noot-waarde in, ook een veelvoud van 12, bijvoorbeeld 12 zelf. Regel de uitgang met P1 af op + 1 volt. Herhaal beide afregelingen tot de twee spanningen zo goed mogelijk gelijk zijn aan de genoemde waarde.

### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 6-8

#### Weerstanden, 1/4 W:

R5 390  $\Omega$

R6 10 k $\Omega$

R7 3,9 k $\Omega$

#### Instelpotentiometers:

P1 10 k $\Omega$

P2 22 k $\Omega$

#### Condensatoren:

C4 1  $\mu$ F, 64 V

C5 10 nF, MKH

#### Geïntegreerde schakelingen:

IC6 ZN 428 E

IC7 741 C

IC8 CD 4001 BE

#### Diversen:

1 x 8-pens IC-voet

1 x 14-pens IC-voet

1 x 16-pens IC-voet

1x standaard tulp-chassisdeel



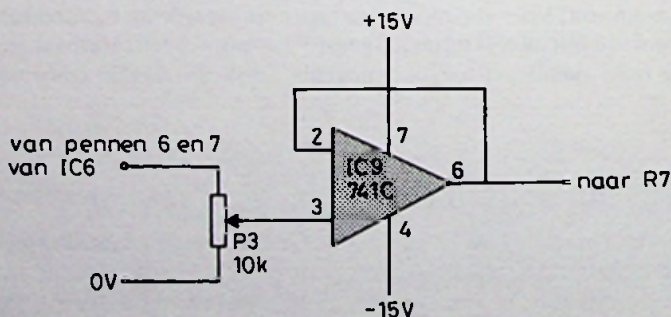
De tweede stap bootst een praktijksituatie na, waarbij de CV-uitgang van de interface wordt verbonden met de gelijknamige ingang van een synthesizer. Uiteraard moet men ook de gate-uitgang van afbeelding 6-6 koppelen met het apparaat.

Bij sommige synthesizers zal men enkele schakelaartjes moeten bedienen alvorens het apparaat bereid is externe spanningen te accepteren. Het is niet waarschijnlijk dat de afregeling van de eerste stap zonder naregeling goed klinkende tonen tot gevolg heeft. In de meeste gevallen zal men de twee potentiometertjes iets moeten bijregelen, waarbij P2 steeds voor de hoge en P1 steeds voor de lage tonen wordt verdraaid. Men moet natuurlijk (tenzij men absoluut gehoor heeft) steeds een frequentiereferentie in de buurt hebben, zoals een stemvork of ander muziekinstrument dat goed gestemd is. Men moet er rekening mee houden dat de interface een veel groter bereik heeft dan de meeste synthesizers. De uitgangsspanning gaat van 83,33 millivolt tot meer dan 10 volt, hetgeen overeen komt met een toonladder van 127 noten. Men moet er dus zeker van zijn dat de nootwaarden die men via de computer inleest, te verwerken zijn door de synthesizer.

### Het verschuiven van de toonwaarde

De besproken afregelprocedure gaat er van uit, dat uitgangsspanningen van 1, 2, 3, ..... volt overeen komen met de C. De meeste synthesizers houden zich aan deze afspraak, maar zou men het ongeluk treffen een apparaat in huis te hebben dat zich enigzins eigenzinnig gedraagt, dan is er nog niet zo veel aan de hand. Met een kleine extra schakeling kan men een soort van "super-offset" invoeren, waardoor het uitgangsspanningsbereik van de CV-interface naar beneden of naar boven te verschuiven is.

De wijzigingen die men in het schema moet aanbrengen zijn getekend in afbeelding 6-9. De onderste aansluiting van weerstand R7 uit afbeelding 6-8 wordt losgekoppeld van de massa en verbonden met de uitgang van de operationele versterker in afbeelding 6-9.



Afbeelding 6-9 Het introduceren van een extra offset voor het verschuiven van het toonbereik van de schakeling.

Deze opamp werkt als een soort spanningsbron, die een nauwkeurige en stabiele spanning afleidt uit de interne referentie van de DAC. De spanning van deze referentie staat ter beschikking op de pennen 6 en 7 en wordt aangesloten op een tienslagen potentiometer P3. Met deze potentiometer kan men dus een zeer stabiele spanning instellen tussen 0 en 2,55 volt. Deze spanning wordt gebufferd door de operationele versterker en

voedt het terugkoppelnetwerk van IC7 uit afbeelding 6-8. Deze operationele versterker is geschakeld als inverterende versterker en het gevolg is dat de spanning die men via R7 en een deel van P2 aan de negatieve ingang aanlegt geïnverteerd zal worden. Men kan de uitgangsspanning van de schakeling een bepaald aantal volt's verschuiven. Op deze manier is het mogelijk de uitgangsspanning van de CV-interface aan te passen aan de specifieke karakteristieken van een analoge synthesizer. Als men de loper van P3 in de onderste stand zet, dan is de spanning op de uitgang van IC9 nul en gedraagt de schakeling zich alsof de wijziging niet was aangebracht. Ook de onderste aansluiting van R7 staat dan immers op het massapotentiaal. Het verdraaien van de loper heeft tot gevolg dat het uitgangsbereik van de CV-interface omlaag gaat verschuiven en men kan dus door het verdraaien van de as van P3 de toonhoogte van het instrument verschuiven.

Soms zal het nodig blijken de twee instelpotentiometers P1 en P2 opnieuw af te regelen nadat men met P3 het toonbereik verschoven heeft.

### **Universele voeding**

De in dit hoofdstuk besproken schakelingen nemen geen genoegen met de standaard +5 volt die onze computer kan leveren. Naast deze spanning heeft men twee extra spanningen van + en -15 volt nodig voor het voeden van de operationele versterkers. De schakelingen verbruiken ongeveer 100 milli-ampère van de +5 volt spanning en slechts enkele milli-ampère van de twee opamp voedingen. Men zou natuurlijk de elders in dit boek besproken hulpschakelingen kunnen toepassen om uit de beschikbare +5 volt een hogere positieve en een negatieve spanning af te leiden. Maar de vraag is of het niet veel verstandiger is een kleine eigen voeding samen te stellen. Vanwege het zeer kleine stroomverbruik hoeft deze voeding niet meer dan enkele tientjes te kosten en men is in een klap verlost van een aantal mogelijke storingsbronnen, zoals de restspanningen van de oscillatoren van de spanningsverdubbelers.

Afbeelding 6-10 geeft het volledige schema van een bruikbare voedingsschakeling. Uit een klein 2 x 15 volt, 2 x 100 milli-ampère trafootje T1 worden door middel van vier losse, in brug geschakelde, dioden D1 tot en met D4, twee gelijkspanningen van ongeveer + en -20 volt afgeleid. Uit deze ongestabiliseerde spanningen worden met behulp van drie geïntegreerde spanningsregelaars de noodzakelijke gestabiliseerde spanningen van +5, +15 en -15 volt opgewekt. De zes ontkoppelingscondensatoren C7 tot en met C10 en C12 en C13 moeten zo dicht mogelijk tegen de aansluitdraadjes van de stabilisatoren worden gesoldeerd.

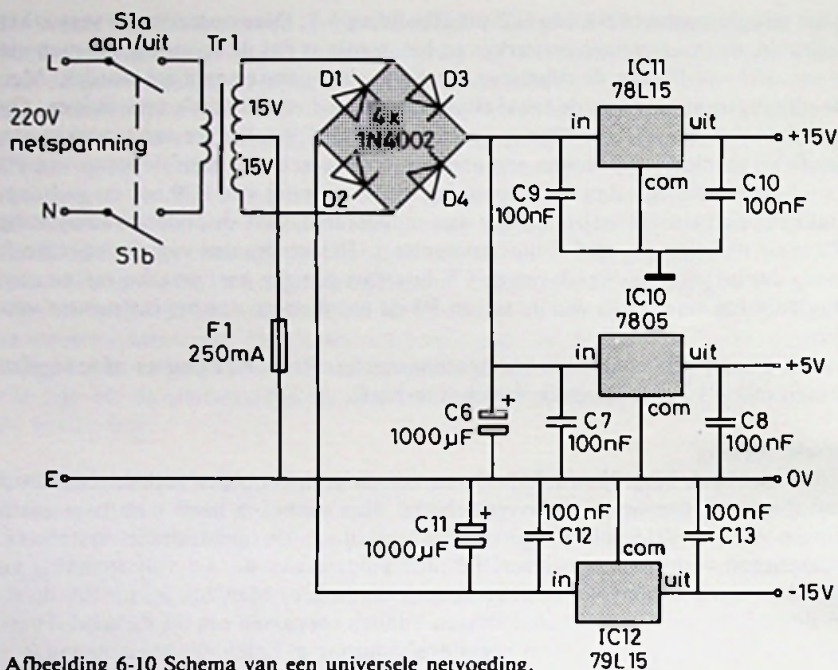
Na de bouw moet men de voedingen testen en blijken de drie spanningen aanwezig, dan kan men het geheel inbouwen in een metalen of kunststoffen kastje. Denk aan de voorgeschreven veiligheidseisen die gesteld worden aan netgevoede apparatuur. Als men een metalen behuizing gebruikt moet men de kast met de aarde van het net verbinden. isoleer bovendien alle netvoerende verbindingen met isolerende lak en plakband.

### **Meerdere kanalen**

De beschreven schakelingen wekken één gatepuls en één CV-spanning op. Het is echter mogelijk de schakeling uit te breiden naar meerdere kanalen.

Een aantal delen moet dan slechts één maal worden opgebouwd, de overige schakelingen moeten even vaak aanwezig zijn als men uitgangen wil.





Afbeelding 6-10 Schema van een universele netvoeding.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 6-10

##### Condensatoren:

C6 1000  $\mu$ F, 25 V  
 C7 100 nF, MKH  
 C8 100 nF, MKH  
 C9 100 nF, MKH  
 C10 100 nF, MKH  
 C11 1000  $\mu$ F, 25 V  
 C12 100 nF, MKH  
 C13 100 nF, MKH

##### Halfgeleiders:

D1 1 N 4002  
 D2 1 N 4002

D3 1 N 4002

D4 1 N 4002

##### Geïntegreerde schakelingen:

IC10 78L05

IC11 78L15

IC12 79L15

##### Diversen:

1 x trafo 2 x 15 V~, 2 x 100 mA

1 x dubbelpolige aan/uit schakelaar

1 x zekeringhouder

1 x 250 mA zekering

#### Eenmalig zijn:

- de optische koppelaar IC1 uit afb. 6-1;
- de UART IC2 uit afb. 6-2, hoewel het noodzakelijk zal zijn de uitgangen te bufferen met bijvoorbeeld een acht bit TTL-buffer;
- de decoder IC3 uit afb. 6-1.

Men kan diverse uitgangen van deze decoder gebruiken, die elk één kanaal kunnen besturen.

Elk kanaal bestaat dan uit een IC4, IC5, IC6, IC7 en IC8.

De voeding zal moeten worden aangepast voor de stroom die al deze extra schakelingen trekken. Men kan bijvoorbeeld een 2 x 500 milli-ampère trafo toepassen en de stabiliseren vervangen door de equivalente U-uitvoering, die 1 ampère kunnen leveren. Deze halfgeleiders moeten bovendien op koelplaatjes gemonteerd worden.

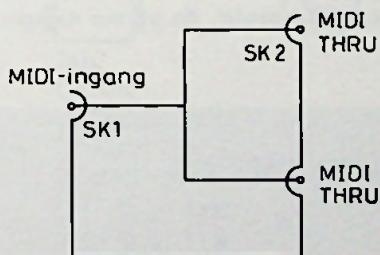
Opgemerkt moet worden dat deze uitbreidingen niet in de praktijk zijn uitgetest. Theoretisch moeten de voorgestelde uitbreidingen echter goed functioneren.

### MIDI-expander

Bij uitgebreide systemen kan het probleem ontstaan dat men niet voldoende uitgangen ter beschikking heeft om alle ingangen van de in het systeem geïntegreerde MIDI-apparaten te sturen. De bedenkers van de MIDI-norm hebben ook daar rekening mee gehouden, zodat een heleboel apparatuur is voorzien van zogenoemde "MIDI-THRU"-aansluitingen. Dank zij deze aansluitingen kan men MIDI-apparatuur als het ware als een ketting van schakels aansluiten. Helaas beschikken nog lang niet alle apparaten over deze voorziening. Men kan dan zelf een signaalsplitser in elkaar solderen volgens het schema van afbeelding 6-11.

De drie aansluitingen zijn simpelweg parallel geschakeld, zodat het signaal op de "MIDI-IN" ook ter beschikking staat op de twee "MIDI-THRU"-connectoren. Deze eenvoudige oplossing is echter alleen mogelijk als men niet meer dan twee apparaten op één uitgang moet aansluiten.

Een standaard MIDI-uitgang kan immers slechts met twee identieke ingangen belast worden.

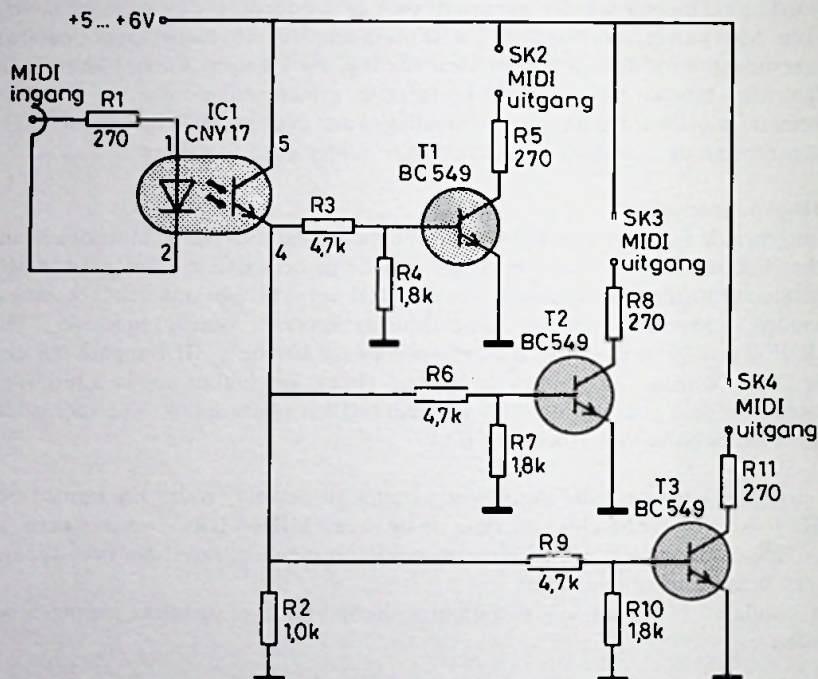


Afbeelding 6-11 Een meervoudige passieve MIDI-expander.

Heeft men meer apparaten die op één uitgang moeten worden aangesloten, dan kan men het schema van afbeelding 6-12 inschakelen. De MIDI-IN van SK1 wordt verbonden met het apparaat dat de MIDI-informatie levert. Deze datastroom wordt op de reeds bekende manier via een optische koppelaar IC1 optisch doorgegeven aan een aantal schakeltrappen. In het schema zijn slechts drie trappen getekend, maar men kan dit aantal zonder problemen uitbreiden. De optische koppelaar kan wel een tiental schakeltrappen aansturen. Het enige nadeel is dat er een voedingsspanning noodzakelijk is. Deze kan afgenomen worden van een eenvoudige +5 volt voeding, samen-



gesteld uit een 6 volt trafo, een bruggelijkrichter, een afvlak-elco en een 7805 IC-stabilisator.



Afbeelding 6-12 Een actieve MIDI-expander, die tot tien apparaten uit één MIDI-bron kan aansturen.

#### ONDERDELENLIJST BIJ AFB. 6-12

Weerstanden, 1/4 W:

R1 270  $\Omega$

R2 1 k $\Omega$

R3 4,7 k $\Omega$

R4 1,8 k $\Omega$

R5 270  $\Omega$

R6 4,7 k $\Omega$

R7 1,8 k $\Omega$

R8 270  $\Omega$

R9 4,7 k $\Omega$

R10 1; 8 k $\Omega$

R11 270  $\Omega$

Halfgeleiders:

T1 BC 549

T2 BC 549

T3 BC 549

Geïntegreerde schakelingen:

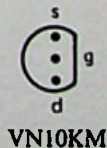
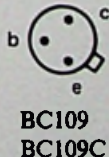
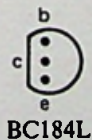
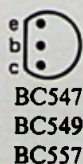
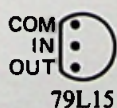
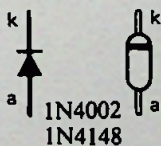
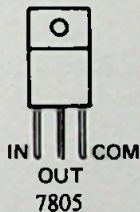
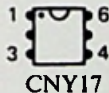
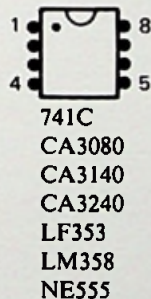
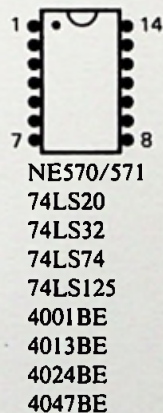
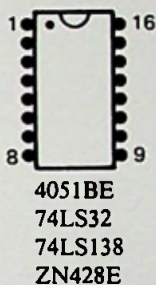
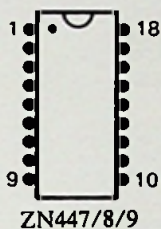
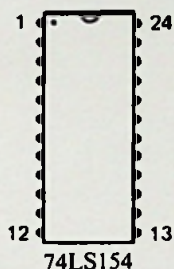
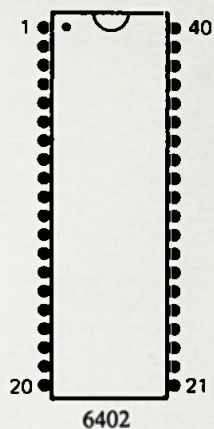
IC1 CNY 17

Diversen:

4 x standaard 5-polig DIN-chassisdeel

# Appendix

## Aansluitgegevens van gebruikte halfgeleiders en geïntegreerde schakelingen





**Het huwelijk tussen digitale computers en analoge muziekinstrumenten kan alleen in stand blijven als de verbindende schakels, de interfaceschakelingen en de software, aanwezig zijn.**

**En dat is nu precies waar dit boek over gaat.**

**Er worden niet alleen eenvoudige schakelingetjes besproken om via de bestaande printerpoort van een populaire computer een op zichzelf staande elektronische drum aan te sturen, ook ingewikkelde systemen komen aan de orde die verschillende MIDI-instrumenten onder de bezielende leiding van een computer samensmelten tot een harmonieus spelend elektronisch orkest. Het is de verdienste van de auteur dat hij er in geslaagd is zelfs deze ingewikkelde systemen op te splitsen in een aantal in wezen zeer eenvoudige en overzichtelijke elektronische schakelingen. De ene na de andere zélf te bouwen, te testen en met behulp van simpele BASIC-listings of assemblerprogrammaatjes te programmeren. Nadat men voldoende ervaring heeft opgedaan met deze stukjes van de interfacepuzzel kan men deze stap voor stap samenbouwen tot een steeds ingewikkelder besturingssysteem.**

**Alleen de eigen fantasie en durf bepalen de grenzen tot waar men wil gaan!**